



Universidade de
Aveiro

Departamento de Geociências

2014



Hilário Fernando Afonso
Mucuto

**A viabilidade técnica de aplicação do calcário de Nacala,
Moçambique, na produção do cimento**



Universidade de
Aveiro

Departamento de Geociências

2014



Hilário Fernando Afonso
Mucuto

**A viabilidade técnica de aplicação do calcário de Nacala,
Moçambique, na produção do cimento**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geomateriais e Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica de Prof. Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Doutor

Professor Associado, Fernando Ernesto Rocha de Almeida, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Vogal

Arguente principal

Prof. Doutor

Professor Associado com Agregação, Luliu Bobos Radu, da Universidade do Porto

Vogal

Orientador

Prof. Doutor

Professor Catedrático, Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao longo deste tempo de aprendizagem na Universidade de Aveiro Departamento de Geociências em parceria com a Universidade de Ciências do Porto que culminou com a redacção desta dissertação, muitos foram os que me inspiraram pela sua dedicação, empenho e paixão nas diversas áreas do conhecimento.

O conteúdo que compõe este trabalho não teria sido possível de ser concretizado apenas com um mero esforço individual; assim, gostaria de manifestar o meu sincero agradecimento a todos quantos, de forma directa ou indirecta, tornaram possível a sua realização:

Ao Professor Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, meu orientador, disponibilizando-se a cooperar activamente para o desenvolvimento das minhas competências que sempre acreditou no meu projecto, encorajou me, apoiou me, acompanhou me, aconselhou me e assumiu a orientação deste trabalho oferecendo o seu tempo, formulando as suas análises e críticas até a redacção do texto final;

Ao Professor Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e Director do curso, pelo apoio técnico, científico e aconselhamento para a efectivação do trabalho;

À Professora Dr.^a Maria Rosário Mascarenhas Azevedo ao apoio incomensurável em todos os momentos do decurso do mestrado que foram fundamentais para a concretização deste trabalho e por todas as facilidades concedidas, um especial agradecimento;

Aos Docentes do Departamento de Geociências em especial do Curso de Mestrado em Geomateriais e recursos geológicos por todas as indicações sábias, ensinamentos, lucidez crítica e amizade com que sempre manifestaram ao longo da minha formação;

A todos meus Docentes da faculdade de ciência do Porto em especial os professores Doutores, Fernando Noronha, Luliu Bobos Radu, António Guerner, Isabel Fernandes, Maria dos Anjos Ribeiro, em companhia com os outros que foram bastante decisivos na minha formação;

Às Eng^a Cristiana Costa, Cristina Sequeira, Denise Terroso, engenheiras do laboratório de Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, que tornaram possível realizar os ensaios químicos e mineralógicos das amostras até ao resultado final;

À empresa Cimentos de Moçambique em Nacala pelo meu estágio na empresa e pelo bom clima de trabalho existente com todos.

Aos familiares e amigos muito obrigado.

Palavras-chave

Calcário, cimento, Desenvolvimento, minerais, Moçambique, rocha.

Resumo

Moçambique é um país rico em recursos naturais, uns em fase de prospecção, outros em exploração. A mineração é um dos factores chave na economia do país. Neste trabalho realizou-se um estudo sobre a viabilidade técnica de aplicação do calcário de Nacala, Moçambique, na produção do cimento. Assim, surge o seguinte problema: Na praia de Relamzapo, Nacala-Moçambique, em direcção a costa, aflora uma extensa rocha calcária com possibilidades de aplicação como rocha industrial. Quais são as condições geoquímicas e mineralógicas que exercem maior influência na decisão de ser adequada para a produção do cimento? Face ao problema acima, surgem as seguintes hipóteses: As condições que representam factores elevados de teores de carbonato de cálcio (CaCO_3), e baixos teores de sílica podem exercer maiores influências na decisão de serem adequadas para a produção de cimento; A rocha aflorante na região pode ser um material rico em minerais carbonatados com compostos orgânicos aí presentes e poucos silicatos. Traçou-se como objectivo geral: Avaliar a composição química e mineralógica dos calcários para aplicação na produção do cimento. Específicos: 1) Descrever a geologia de Moçambique; 2) Caracterizar as amostras de calcário da região de Nacala com vista a avaliar o seu potencial geoquímico como rocha industrial para a produção do cimento; 3) Analisar o nível de desenvolvimento da região impulsionado pela extracção e utilização do calcário na indústria cimenteira e 4) Explicar os impactos sociais, económicos e ambientais decorrentes da exploração dos calcários. Fez-se ensaios químicos e mineralógicos no laboratório de geociência da UA, recorrendo a FRX e DRX em duas amostras de calcário recolhidas em Moçambique. Os resultados dos ensaios químicos, demonstraram que as amostras em destaque apresentam na sua composição química, alta percentagem de óxido de cálcio (cao) na ordem de 52,915% na amostra 1 e 53,081% de óxido de cálcio (CaO) na amostra 2. O resultado da análise DRX da amostra 1 permitiu identificar 7 (sete) minerais nomeadamente: aragonite com 41% na amostra, calcite 37%, calcite magnesiana 10%, dolomite 5%, minerais não carbonatados como quartzo 1%, feldspatos potássico 1% e minerais argilosos 5%. Os principais minerais identificados na amostra 2 através da mesma técnica foram aragonite com 57% na amostra, seguida da calcite 29%, calcite magnesiana 8% e finalmente a dolomite 6% (não foram encontrados minerais não carbonatados na amostra 2). As informações obtidas através dos vários ensaios realizados permitiram concluir que o material testado reúne as condições básicas exigidas para a produção do cimento ou seja, todas as composições apresentaram resultados satisfatórios em termos de elevados teores de matéria carbonatada, possuindo pouca matéria silicatada. Os mesmos resultados do estudo permitem ainda definir diferentes linhas de desenvolvimento de trabalhos futuros, tais como a aplicação desse calcário para outros fins económicos e ambientais.

Keywords

Limestone, cement, Development, minerals, Mozambique, rock.

Abstract

Mozambique is a country rich in natural resources, prospecting stage, others in operation. Mining is one of the key factors in the economy. In this work, it was done a study of the technical feasibility of application of limestone from Nacala- Mozambique in cement production. On the beach of Relanzapo, Nacala Mozambique, towards the coast, an extensive limestone outcrops with possible applications as industrial rock. What are the geochemical and mineralogical conditions that most influence the decision to be suitable for the production of cement? In view of the above problem, the following hypotheses emerge: The conditions that represent high input levels of calcium carbonate (CaCO_3), and low concentrations of silica can exert major influences on the decision to be suitable for the production of cement; The rock outcropping in the region can be a material rich in carbonate minerals with organic compounds present therein and few silicates. General objective was to evaluate the mineralogical and chemical composition of limestone for use in cement production. Specific objectives were: 1) to describe geology Mozambique; 2) Featuring samples of limestone from the region of Nacala in order to assess their potential as industrial rock geochemistry for the production of cement; 3) Analyze the level of development of the region driven by the extraction and use of limestone in the cement industry and 4) explain the social, economic and environmental impacts associated with the use of limestone in that part of the country. Chemical and mineralogical analysis were carried out on the laboratories of Geoscience Departament, UA, using XRF and XRD, in two samples of limestone from Relamzapo quarry, collected in Nacala region, Mozambique. The results of chemical tests showed that the samples have high percentage of calcium (cao) oxide, 52.915% in sample 1 and 53.081% calcium (CaO) oxide sample 2 . The results of XRD analysis of the sample1 allowed to identify seven (7) minerals, aragonite 41%, calcite 37%, magnesium calcite 10% , dolomite 5%, quartz 1%, potassium feldspars 1% and 5 % clay minerals. The main minerals in sample 2 are 57% aragonite 29% Calcite, 8% magnesium calcite and dolomite 6%; non-carbonated mineral were not found in this sample. The information obtained through the various tests showed that the both samples meet the required conditions for the production of cement. All compositions showed satisfactory results in terms of high levels of carbonated component, showing little silicate component. The results of the study allow us to further define different developmental lines of future work, such as the application of limestone to other economic and environmental purposes.

ÍNDICE GERAL

Conteúdo

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	ix
Lista de abreviaturas e siglas.....	xi
CAPITULO I.....	12
1. Introdução.....	12
1.1. Plano geral da dissertação.....	12
1.2. Enquadramento do trabalho.....	15
1.3. Definição do problema e objectivos do trabalho	17
1.4. Definição do objecto de estudo e justificativa.....	18
CAPITULO II	20
2. Localização geográfica de Moçambique e da área de estudo	20
2.1. Localização geográfica da área de estudo	21
2.2. Enquadramento cultural.....	23
2.3. Enquadramento regional.....	24
2.4. Enquadramento geológico	26
2.4.1. O Pré-Câmbrico	26
2.4.2. O Fanerozóico.....	27
2.4. Enquadramento geomorfológico	35
CAPITULO III	39
3. Metodologia do trabalho	39
3.1. Trabalho do gabinete	39
3.2. Trabalho do campo	40
3.3. Revisão bibliográfica.....	41
CAPÍTULO IV	45
4. Tecnologia de fabricação do cimento.....	45
4.1. Cimento Portland.....	45
4.2. Fabricação e composição.....	45
4.2.1. Processo de fabricação	47
CAPITULO V	52

5. O Impacte da extracção do calcário na produção de cimento em Nacala	52
5.1. Ambiental	52
5.2. Social	56
5.3. Política Ambiental da empresa	57
CAPITULO VI.....	58
6. O calcário	58
6.1. Origem e características.....	58
6.2. Composição dos calcários	58
6.3. Classificação dos calcários	60
6.4. Impurezas contidas no calcário.....	61
6.6. Análises laboratoriais das amostras do calcário	61
6.6.1. Colheitas das amostras	61
6.6.2. Preparação das amostras no laboratório.....	63
6.6.3. Análise química - procedimentos.....	63
6.6.4. Execução de uma pastilha prensada – Procedimento	65
6.6.5. Análise mineralógica-Procedimentos	65
CAPITULO VII.....	67
7. Resultados e discussão dos dados ensaiados.....	67
7. 1. Análise e interpretação de dados dos ensaios químicos	67
7.2. Dados de análise comparativa entre os calcários ensaiados na empresa de cimento de Moçambique e na UA.....	73
7.3. Análise de Índice de hidraulicidade e cimentação.....	75
7. 4. Os grupos de minerais identificados na análise de DRX.....	78
7. 4.1. Breve caracterização dos minerais identificados	78
7. 4.2 Análise e interpretação dos dados da DRX.....	79
7. 5. Análise quantitativa dos minerais - Procedimentos.....	86
7. 5.1. Análise quantitativa da amostra de calcário1	87
7. 5.2. Análise quantitativa da amostra de calcário2.....	95
7. 5.3. Dados compilados (análise química, mineralógica e índices de hidraulicidade e cimentação).....	95
8. Conclusões	98
9. Sugestões	102
10. Bibliografia.....	104

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localização geográfica de Moçambique	21
Figura 2. Distrito de Nacala	22
Figura 3. Pedreira de Calcário de Relanzapo	23
Figura 4. Reconstrução do Gondwana	25
Figura 5. O Cratão do Zimbabwe.....	26
Figura 6. Mapa da África Austral.....	30
Figura 7. Geologia simplificada da sub-Província de Nampula.....	32
Figura 8. Seção transversal de área Nacala Porto	34
Figura 9. Mapa de hipsometria e hidrografia de Moçambique	36
Figura 10. O clínquer	46
Figura 11. Tecnologia de fabricação de cimento	47
Figura 12. Pedreira calcária de Relanzapo em Nacala, alteração paisagística	55
Figura 13. Foto do calcário de Nacala, erosão provocada pela extracção	56
Figura 14. Amostra de calcário de Nacala	62
Figura 15. Esquema de um espectrómetro de Raios X	64
Figura 16. Philips Automatic Bead Machine e figura a direita, Pormenor da fornalha e “Perl X3” respectivo amostrador.....	65
Figura 17. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Aragonite)	80
Figura 18. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Calcite).....	81
Figura 19. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose Calcite com magnésio)	82
Figura 20. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose de dolomite)	83
Figura 21. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Aragonite, calcite e dolomite)	84
Figura 22. Principais minerais analisados	85
Figura 23. Difratoograma da amostra de calcário1 (picos de amostragem).....	86
Figura 24. Difratoograma da amostra de calcário2 (Picos da Aragonite).....	88
Figura 25. Difratoograma da amostra de calcário2 (Calcite)	89
Figura 26. Difratoograma da amostra de calcário2 (Calcite com dolomite).....	90
Figura 27. Difratoograma da amostra de calcário2 (dolomite)	91
Figura 28. Difratoograma da amostra de calcário2 (Picos da Aragonite,calcite e dolomite) ...	92
Figura 29. Principais minerais analisados	93
Figura 30. Difratoograma da amostra de calcário2 (picos de amostragem).....	94

Lista de tabelas

Tabela 1. Coordenadas geográficas.....	22
Tabela 2. Recursos minerais e suas ocorrências	29
Tabela 3. Composição química (%) dos calcários estudados por alguns autores	43
Tabela 4. Especificações de tipo de cimento.....	48
Tabela 5. Classificação do calcário conforme o teor de magnésio	59
Tabela 6. Análise química	68

Tabela 7. Calcários analisados na empresa de cimentos de Moçambique	73
Tabela 8. Comparação entre calcários analisados em Moçambique e na UA.....	74
Tabela 9. Dados da análise quantitativa de amostra1	87
Tabela 10. Dados da análise quantitativa de amostra2.....	95
Tabela 11. Resumo de análises (mineralógica, química e índices de hidraulicidade e cimentação.....	96

Lista de gráficos

Gráfico 1. Composição química da amostra1	71
Gráfico 2. Composição química da amostra2	72
Gráfico 3. Comparação entre calcários analisados em Moçambique e na UA	74

Lista de abreviaturas e siglas

DRX- Difrakção de Raios X

XRF: X-ray Fluorescence (Espectrometria de Fluorescência de Raios-X)

ISO- International Standard Organization (Organização Internacional de Normalização)

LOI-Lost On Ignition

MP- Material particulado

NBR- Norma Brasileira de Referência

NP- Norma Portuguesa

UA- Universidade de Aveiro

UPM- Universidade Pedagógica de Moçambique

PF- Perda ao Fogo

PR-Perda ao Rubro

Ppm - partes por milhão (gramas por tonelada)

FAAS -Flame Atomic Absorption Spectrophotometry

WBSCD- World Business Council for Sustainable Development (Comissão Mundial para o Desenvolvimento Sustentável)

CAPITULO I

1. Introdução

Desde os primórdios da humanidade a natureza impôs ao homem diversos desafios e dificuldades alheias à sua vontade marcando inúmeras etapas de vitórias e grandes conquistas sobre as adversidades impostas. A actualidade enfrenta novos desafios, emergem novos paradigmas, surge uma nova era e traz consigo mudanças tão radicais como as mais importantes que se deram na história. É diante disso que se pretende desenvolver este estudo tendo como enfoque a viabilidade técnica de aplicação do calcário de Nacala-Moçambique na produção do cimento.

O uso do cimento tem sido considerado desde o início do século XX a solução económica e em grande escala tanto para o problema da moradia humana, como para a construção das grandes obras da engenharia moderna. As grandes, médias e pequenas obras realizadas em Moçambique e em quase todo o mundo utilizam o cimento maioritariamente como o material de base na construção civil. As rochas e minerais industriais como matéria-prima são essenciais para o desenvolvimento económico. A melhoria de infra-estruturas, o desenvolvimento da construção civil e o crescimento do sector industrial requerem um controlo seguro dos materiais de construção.

Moçambique possui um potencial e uma diversidade de minerais e rochas industriais uns metálicos e outros não metálicos como é o caso de calcários, com valor local mas de grande dispersão geográfica cujo conhecimento constitui um grande desafio para assegurar a gestão e exploração sustentável dos mesmos, potenciando políticas de desenvolvimento numa estratégia de melhoria da qualidade de vida das comunidades.

1.1. Plano geral da dissertação

A presente Dissertação é composta por 07 (sete) capítulos que constituem o seu corpo. A anteceder o primeiro capítulo, encontram-se os elementos pré-textuais nomeadamente, os agradecimentos, um resumo em português seguido do resumo em inglês, o índice geral, lista de figuras, tabelas, gráficos e por último lista de abreviaturas e siglas para auxiliarem a consulta do trabalho. A seguir ao corpo, encontra-se a parte pós-textual, da qual fazem parte as referências bibliográficas e os anexos.

A primeira parte do capítulo faz uma introdução ao trabalho e aborda de forma generalizada alguns aspectos referentes à dissertação. Esta parte faz referência aos motivos que inspiraram a realização deste trabalho, às metas que se pretendem atingir, assim como aos mecanismos que foram seguidos para a concretização dos objectivos pretendidos. Apresenta-se ainda o enquadramento do trabalho onde se aborda uma contextualização do tema face aos grandes desafios que envolvem as potencialidades dos minerais e rochas industriais na economia local, regional e internacional, enquadramento do trabalho na linha de investigação desenvolvida no Departamento de Geociência da Universidade de Aveiro, o contributo da empresa de cimentos de Moçambique S.A Cimpor do grupo Intercement em Nacala Porto-Moçambique, assim como a relevância da parceria entre a Universidade de Aveiro e a Universidade Pedagógica na efectivação da dissertação. Ainda se define o problema que constitui a base fulcral, ou seja, o motivo de inquietação que levou o autor deste a pesquisar com vista a apurar a verdade no que concerne ao estudo tendo em conta com os objectivos previamente formulados. Define-se o objecto de estudo e a justificativa que dá enfoque os pontos mais relevantes, pontos chaves quer de natureza técnico-científica quer de natureza sócio económica sem deixar de lado a importância de Nacala no contexto regional.

O 2º capítulo foi preenchido pela contextualização geográfica de Moçambique na região da África Austral, seus limites e fronteiras com os países vizinhos e suas coordenadas geográficas. Aqui faz-se igualmente a localização da área de estudo, Nacala Porto, onde está instalada a fábrica de cimento e a pedreira de Relanzapo, região onde se extrai o calcário, matéria-prima aditiva para a produção do cimento. Como não deixaria de ser, fez-se o enquadramento cultural para perceber a origem do nome Nacala e outros factores sócio culturais que interessam bastante para se ter uma ideia de que povo se trata, pois pela opinião do autor, esse povo merece grande respeito e consideração, o facto de ser bastante humilde contra todas as situações sócio políticas que esteve mergulhado na luta pela conquista da sua integridade, liberdade e bem-estar e ainda mais na preservação da sua geodiversidade e de todo seu bem comum. Nessa parte faz-se igualmente o enquadramento de Nacala e de Moçambique no cenário regional para se perceber a evolução regional onde constam os principais acontecimentos regionais desde o Pré-Câmbrico (era mais antiga) até a Cenozóica, a mais recente, esta última com mais relevância as Terciário e Quaternário, dois períodos muito marcantes na história geológica, pois formaram-se importantes rochas e minerais industriais como é o caso de gesso e calcário para o cal e cimento, esta última constituindo objecto de estudo da presente dissertação que ao longo do trabalho far-se-á referência.

Ainda nesta parte do capítulo, do ponto de vista geodinâmico faz-se referência ao soco cristalino de Moçambique composto por três terrenos diferentes que colidiram e se juntaram durante o ciclo orogénico pan-africano. Mostram-se igualmente alguns mapas sobre a reconstituição do Gondwana e o cratão do Zimbábwe (mapa 04 e 05 respectivamente), mostrando as principais unidades tectónico-estratigráficas.

No enquadramento geológico se aborda de forma geral a geologia de Moçambique, ou seja, as principais unidades geológicas, sua idade cronológica, localização, eventos regionais que afectaram o país, como é o caso do *Rift valley* da África oriental, que compreende uma vaga de sedimentos e rochas sub-vulcânicas associadas que podem ser relacionados com rifteamento, migração e dispersão do Gondwana.

Nesse 2º capítulo faz-se a descrição da geologia simplificada da sub-província de Nampula, onde no mapa 07, mostra a ocorrência de vários complexos geológicos. No enquadramento geomorfológico faz sentido pois que descreve a interacção de agentes internos (vulcanismo, tectonismo abalos sísmicos responsáveis pela formação das principais formas do relevo moçambicano, nomeadamente, planícies, planaltos e montanhas.

No 2º ponto deste capítulo explica-se o trabalho do campo, que previamente o autor passou por um estágio profissional dentro da empresa cimento de Moçambique e posteriormente a visita a pedreira de Relanzapo em Nacala onde se extrai o calcário, matéria-prima aditiva para a produção de cimento.

No 3º capítulo constam os procedimentos básicos que facilitaram a obtenção e recolha dos dados e a multidisciplinaridade que levou a interpretação das informações variadas de diferentes áreas de conhecimentos. Sucintamente explicou-se em que consistiu o trabalho do gabinete que logo a partida, constitui a base teórica para um conhecimento teórico do estudo. Portanto, é relativo a um conjunto de procedimentos aplicados para a produção do trabalho desde o gabinete até ao campo. Faz-se igualmente a revisão bibliográfica que tem a ver com os trabalhos anteriores relacionados com o tema em destaque.

O 4º capítulo é relativo a tecnologia de fabricação do cimento Portland. Nesta parte do capítulo faz-se uma breve explicação dos processos conducentes a produção do cimento, como mistura de diferentes minerais industriais, também especificam-se os tipos de cimentos comumente usados em várias obras de engenharia civil.

No 5º capítulo trata-se do impacto da extracção do calcário na produção de cimento em Nacala. Nesta parte do capítulo faz-se uma contextualização geral relativo aos benefícios e inconveniências decorrentes da extracção do calcário para o ambiente e para as pessoas. Também traz-se à tona as medidas operacionais que a empresa cimentos de Moçambique em Nacala está levando a cabo para a preservação e conservação do ambiente.

O 6º capítulo aborda de forma resumida as particularidades do calcário como rocha industrial, desde a sua origem, características, impurezas comuns que podem ser encontradas de forma geral e em particular as impurezas contidas na presente amostra de calcário usado nessa dissertação. É neste capítulo que também faz-se uma explicação detalhada dos principais procedimentos seguidos para a colheita e posterior tratamento das amostras no laboratório de geociências da UA.

O 7º (e último) capítulo apresenta os resultados e discussões dos dados ensaiados. São apresentados os resultados obtidos nos diversos ensaios realizados durante a fase experimental, consta a interpretação dos dados, faz-se comparação dos tipos de calcários ensaiados na empresa de cimentos de Nacala, Moçambique e do laboratório de Geociência da UA. Faz-se igualmente a interpretação dos difratogramas dos ensaios de DRX, faz-se igualmente a avaliação quantitativa dos minerais das amostras estudadas.

1.2. Enquadramento do trabalho

Moçambique é um país da costa oriental da África com uma extensão geográfica de 799.380 Km², dos quais 786 380 Km² constituem terra firme e 13.000 Km², águas interiores. O comprimento da linha da costa é de 2 515 Km, desde a foz do rio Rovuma (a Norte) à Ponta do Ouro (a Sul do país). A maior largura é de 962,5 Km, partindo da península de Mossuril na província de Nampula até ao marco de fronteira I, situado na confluência do rio Aruangua com o rio Zambeze na província de Tete. A menor largura é de 47,5 Km, medida entre o marco Sivayana localizado a Sul de Namaacha e o Alto Farol na Catembe. A fronteira terrestre desenvolve-se ao longo de cerca de 4.310 Km assim distribuídos: 800 Km de fronteiro Norte, 3445 Km de fronteira Oeste e 85 Km de fronteiro Sul. A fronteira marítima está limitada 12 milhas marítimas contadas a partir da linha de base. (Atlâs geográfico, 1986)

Moçambique tem uma ampla diversidade geológica, onde estão representadas rochas sedimentares, magmáticas, metamórficas, e uma larga geodiversidade de minerais e fósseis. A

grande extensão territorial e a imensa geodiversidade associada a diversos processos geológicos, fazem com que no país ocorram vários recursos geológicos excepcionais, do ponto de vista socioeconómico, científico, didáctico, cultural, turístico entre vários.

Esta Dissertação de Mestrado faz parte do reconhecimento da importância das rochas e minerais industriais, com particular destaque das rochas calcárias, usadas como matéria-prima aditiva para a produção do cimento, este sendo como o produto final que marca a presença em todas as obras de engenharia e arquitectura nas sociedades modernas contribuindo em grande medida para a melhoria das condições de vida da população da região de Nacala em particular, de Moçambique e do mundo em geral.

A pesquisa foi motivada por diversas interrogações levantadas durante a realização do trabalho de campo que consistiu num estágio na empresa Cimentos de Moçambique S.A-Cimpor, do Grupo Intercement em Nacala Porto, Moçambique.

A Cimentos de Moçambique S.A., é uma sociedade anónima constituída em 1994. O Grupo Intercement, um dos vinte maiores produtores mundiais do cimento, é o accionista maioritário da empresa, com 82,4% de acções. As operações do Grupo em Moçambique estão focalizadas em dois segmentos de negócio: a produção e comercialização de cimento e de betão. (Cimpor, 2008 pág.51).

O calcário da região de Nacala é explorado numa pedreira a céu aberto, que tem uma largura total de 180 metros e uma profundidade de 2 a 5 metros, sendo a média de 4 metros, com desmonte efectuado por uma máquina escavadora e não necessita de britagem. O estudo enquadra-se na linha de investigação na área de minerais e rochas industriais, desenvolvida no Departamento de Geociências da Universidade do Aveiro-Portugal.

É importante, e merece ser destacado, o papel da empresa Cimentos de Moçambique S.A-Cimpor, do Grupo Intercement em Nacala Porto, na permissão dum estágio profissional dentro da sua empresa e na disponibilização de toda informação sobre a exploração do calcário na pedreira de Relanzapo situada a cerca de 18km da fábrica de cimentos de Nacala e igualmente no fornecimento de informações sobre a produção do cimento que constituem o ponto de partida para o presente trabalho de dissertação. Também se dá relevo à parceria da Universidade de Aveiro com a universidade Pedagógica de Moçambique no âmbito do qual foi assegurado todas as condições materiais e logísticas para o efeito e para se tornar real a efectivação do projecto.

1.3. Definição do problema e objectivos do trabalho

A opção desse estudo deveu-se principalmente na importância que as rochas e minerais industriais desempenham no panorama económico e na diversidade geológica de Moçambique e do mundo em geral, dando maior ênfase ao calcário por ser uma rocha industrial muito versátil que se conhece, apresentando propriedades adequadas para múltiplas aplicações como por exemplo no fabrico de cimento, na construção civil, aplicação em várias indústrias como as de plásticos, das tintas e do papel, nos sectores químico, na farmacêutica, na produção de cal, no fabrico de agregados, correctivos de solos ácidos, refractários entre várias. O calcário ocorre em todo mundo com reservas muito abundantes. Pela carência de estudos geológicos que caracteriza todo território moçambicano, um trabalho de reconhecimento voltado para estas rochas especiais torna-se uma contribuição bastante significativa.

Formular o problema consiste em dizer, de maneira explícita, clara, compressível e operacional, qual a dificuldade com a qual nos defrontamos e que pretendemos resolver, limitando o seu campo e apresentando suas características. Desta forma, o objectivo da formulação do problema da pesquisa é torná-lo individualizado, específico, inconfundível (Rudio, 1978 apud, Lakatos e Marconi, pág.126). Com base nesta aceção, o trabalho em estudo tem o seguinte **problema**:

- Na praia de Relamzapo, Nacala- Moçambique, em direcção a costa, aflora uma extensa rocha calcária com possibilidades de aplicação como rocha industrial. Quais são as condições geoquímicas e mineralógicas que exercem maior influência na decisão de ser adequada para a produção de cimento?

Uma vez formulado o problema, com certeza de ser cientificamente válido, propõe-se uma resposta” suposta, provável e provisória”, isto é, uma hipótese (Idem, pág.127). Face ao problema exposto acima levanta-se as seguintes **hipóteses**:

- As condições que representam factores elevados de teores em carbonato de cálcio (CaCO_3), e baixos teores em sílica podem exercer maior influência na decisão de serem adequadas para a produção de cimento;
- A rocha que aflora na região de Nacala pode ser um material rico em minerais carbonatados com compostos orgânicos aí presentes e poucos silicatos.

Dessa forma, foi estabelecida como prioridade para o presente trabalho os seguintes objectivos:

Objectivo Geral;

- Avaliar o teor químico e mineralógico da rocha calcária de Nacala, Moçambique, para a sua aplicação na produção de cimento.

Objectivos específicos;

- Descrever a geologia de Moçambique;
- Caracterizar as amostras do calcário de Nacala com vista a análise do seu potencial geoquímico e mineralógico como rocha industrial para a produção do cimento;
- Analisar o nível de desenvolvimento da região impulsionado pela extracção e utilização do calcário na indústria cimenteira.
- Explicar os impactos sociais, económicos e ambientais face a exploração dos calcários

1.4. Definição do objecto de estudo e justificativa

O objecto de estudo é o calcário da região de Nacala. Como justificativa pode se dizer que em Moçambique com particular destaque a região de Nacala, dentre várias aplicações, o calcário tem sido explorado como matéria-prima para a indústria de construção e como matéria-prima aditiva na produção de cimento. O calcário é uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. As actividades económicas relacionadas com a exploração e uso de recursos geológicos constituem importantes bases estratégicas para enfrentar os vastos desafios que a era da globalização coloca actualmente nos mercados internacionais de consumo de minerais e rochas industriais. Com este trabalho, pretende-se potenciar as actividades de produção de calcários para os diversos usos, muito em particular como matéria-prima na produção de cimento em Nacala, com vista a galvanizar o desenvolvimento económico e bem-estar da população local. A escolha do local é devida ao autor ser natural da província de Nampula-Moçambique e Nacala ser uma cidade onde estão instaladas as unidades fabris como é o caso da fábrica de cimento local, que faz o tratamento e processamento do calcário na produção de cimento e por esta região estar também instalada grandes pedreiras de calcárias a nível daquela região.

Outro aspecto bastante relevante na escolha do tema é devido o calcário ser uma rocha com reservas muito abundantes a nível do distrito sendo assim maior sustentável a sua aplicação na

produção do cimento naquela região de Moçambique. Pesquisas com vista a apurar o potencial de calcário na costa do distrito de Nacala, província de Nampula encomendadas por entidades governamentais e desenvolvidas por um consórcio do ramo de minérios em 2009, concluíram a existência de enormes quantidades daquele minério cuja exploração pode ser feita durante 150 a 200 anos. (Cimpor, 2008, pág. 32).

Esta descoberta abre uma nova era para a indústria de cimento cuja produção depende do “clinker” que resulta da transformação do calcário. Resultados adicionais concluíram que os jazigos dos minerais localizados em toda a costa de Nacala, encontram-se saturados e a transbordar por falta de exploração para os fins apropriados. Assim há um potencial de calcário muito forte existente naquela região visando a instalação de mais fábricas de cimento de construção civil. Ainda em Nacala, está confirmada a existência de quantidades significativas de argila e fosfato nos jazigos localizados nas praias Mahelene, para onde se assiste a uma corrida desenfreada de investidores desde que aquele ponto da província de Nampula foi declarada Zona Económica Especial, onde os projectos gozam de isenção de obrigações aduaneiras (Ibid, 2008 pág. 41).

CAPITULO II

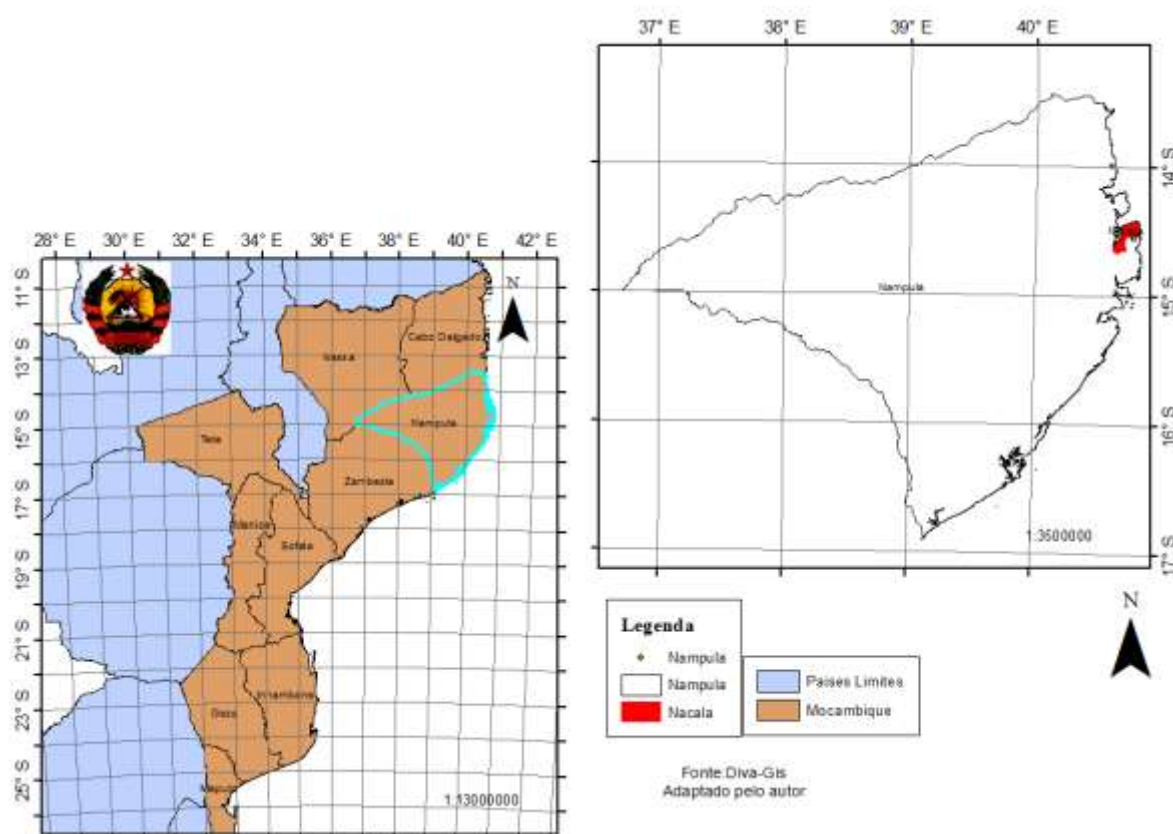
2. Localização geográfica de Moçambique e da área de estudo

Moçambique é um país da costa oriental da África Austral, limitado a norte pela Zâmbia, Malawi e Tanzânia, a leste pelo Canal de Moçambique e pelo Oceano Índico, a sul e oeste pela África do Sul e a oeste pela Suazilândia e pelo Zimbabwe. A capital de Moçambique é Maputo (Lourenço Marques durante a época colonial portuguesa).

A metade norte (a norte do rio Zambeze) é um grande planalto, com uma pequena planície costeira bordejada de recifes de coral e, no interior, limita com maciços montanhosos pertencentes ao sistema do grande vale do Rift. A metade sul é caracterizada por uma larga planície costeira de aluvião coberta por savana e cortada pelos vales de vários rios, entre os quais o mais importante é o rio Limpopo.

Moçambique está localizado a sul do equador. Quanto a sua localização cósmica, o território encontra-se entre os paralelos 10° e 27' e 26° e 52' de latitude sul, e entre os meridianos 30° 12' e 41° 51' de longitude Este. (Atlas geográfico, 1986 pág.5)

Figura 1. Mapa de localização geográfica de Moçambique



Fonte: Diva-Gis

Adaptado pelo autor (2014)

2.1. Localização geográfica da área de estudo

A região em estudo, Relanzapo, pertence ao território moçambicano, província nortenha do País, Nampula, distrito de Nacala Porto. Nacala é onde esta instalada a fábrica de cimentos, e Relanzapo é onde se extrai o calcário usado como matéria-prima na produção de cimento. O calcário é extraído numa pedreira, vulgarmente conhecida por pedreira de calcário de Relanzapo a 18 km da fábrica de cimento de Nacala, junto a praia de Relanzapo localizada na parte nordeste da península de Nacala na localidade de Quissimajulo.

O jazigo de calcário de Relanzapo de Nacala está localizado na profundidade da costa Este da península. Este, forma uma faixa de terra estreita com apenas 500-800 metros de largura que se estende da Ilha de Antinane até ao cabo Melamo (aproximadamente 10km). Em termos de limites, a Este encontra-se o oceano Índico, a Oeste por densa vegetação, a Norte pelo Cabo

Melamo, a sul pela ponta Cumpadji e tem uma altura variável de cerca de 3 metros do nível médio das águas do mar. (Idem,pág. 9).

Nesta é explorado o calcário que é usado como matéria-prima (aditivo) na moagem de cimentos.

A superfície planimétrica é de 1420 hectares e esta circunscrita por uma poligonal rigorosamente definida pelas coordenadas geográficas abaixo representadas.

Tabela 1. Coordenadas geográficas

Vértice	Latitude	Longitude
A	14 ⁰ 31' 45"	40 ⁰ 46' 18"
B	14 ⁰ 30' 45"	40 ⁰ 47' 38"
C	14 ⁰ 30' 32"	40 ⁰ 48' 24"
D	14 ⁰ 31' 05"	40 ⁰ 49' 24"
E	14 ⁰ 31' 05"	40 ⁰ 48' 02"
F	14 ⁰ 31' 50"	40 ⁰ 46' 32"

Fontes: Dados do campo

A figura abaixo pode-se observar a poligonal, chamada por pedreira de Relanzapo, por onde se extrai o calcário.

Figura 2. Distrito de Nacala



Fonte: Imagem Google

A área em estudo, Relanzapo, Distrito de Nacala, corresponde a encosta sudeste e sul da colina de Quissimanjulo. Esta tem a direcção aproximada Norte-Sul, é limitada a oeste pelo vale de Umpaco e a este inclina suavemente para o oceano Indico. O topo se encontra a 50/60 metros de altura acima do nível médio das águas do mar.

A ocorrência de calcário esta coberta por uma fina camada vegetal (apenas capim seco que permite a circulação do Jeep com facilidade como se pode ver na figura abaixo:

Figura 3. Pedreira de Calcário de Relanzapo



Fonte: captada pelo autor (2013)

2.2. Enquadramento cultural

A pesquisa efectuou-se em Moçambique na província nortenha do país, Nampula, distrito de Nacala. Neste contexto, distrito é um conceito territorial e administrativo essencial à programação da actividade económica e social e à coordenação das intervenções das instituições nacionais e internacionais. Avaliar o potencial distrital e o seu grau de sustentabilidade, bem como o nível de ajustamento do respectivo aparelho administrativo e técnico às necessidades do desenvolvimento local, é, pois, uma missão principal a que lhe compete.

O nome original do distrito de Nacala é “**Minguri**”, que era o nome de uma espécie de árvore (já desaparecida) do distrito e que abundava na zona costeira deste distrito e que servia de refúgio aos primeiros habitantes do território.

Os primeiros habitantes da zona depararam-se com inúmeras dificuldades devido à presença de animais ferozes, sobretudo, leões, leopardos, cobras venenosas e mosquitos que os atacavam sem piedade. Perante tantas dificuldades, as pessoas costumavam interrogar-se usando a expressão - “**N’nakala**”? Na língua materna Emakua, língua local, isto significava – será que vamos sobreviver? (Cimpor, 2008, pág. 35).

Com a chegada dos portugueses ao distrito, em 1914, no âmbito de colonização, as populações ficaram bastante receosas com a presença dos estrangeiros e repetiam incessantemente – “N’nakala”? Daí que os portugueses passaram a denominar aquele território de Nacala.(ibid.,pág. 36).

A religião dominante é a Muçulmana, praticada pela maioria da população do distrito. Existem outras crenças no distrito, sendo prática corrente que os representantes das hierarquias religiosas se envolvam, em coordenação com as autoridades distritais, em várias actividades de índole social.

2.3. Enquadramento regional

A África é largamente composta em geral por um conjunto de cratões e cinturões móveis de idade arcaica, unidos por cinturões dobrados alongados de idade proterozóico-câmbrica cobertos por sedimentos indeformados e rochas extrusivas associadas, de idades neoproterozóica, carbonífera tardia a jurássica inicial e Cretácico-Quaternária (GTK Consortium, 2006a).

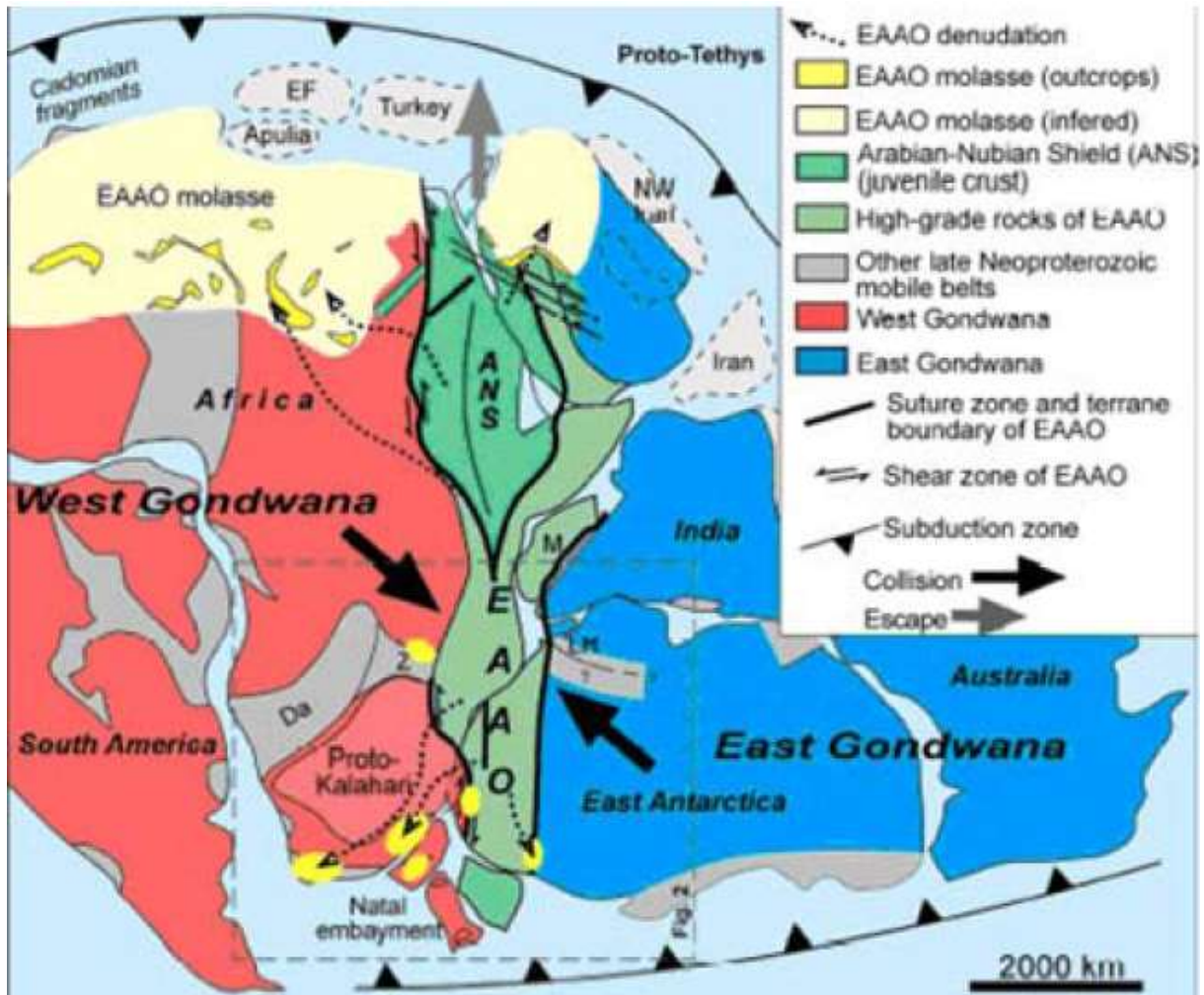
O soco cristalino é constituído por paragneisses supracrustais metamorfizados, granulitos e migmatitos, ortogneisses e rochas ígneas. Do ponto de vista geodinâmico, o soco cristalino de Moçambique é composto por três terrenos diferentes, que colidiram e se juntaram durante o Ciclo Orogénico Pan-Africano. Anteriormente à união pan-africana, cada terreno possuía um desenvolvimento geodinâmico individual e específico. Na Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique volume IV, estes terrenos são designados provisoriamente por Terreno do Gondwana Este, Terreno do Gondwana Oeste e Terreno do Gondwana Sul (Ibid.,pág.102).

O Terreno do Gondwana Sul abarca o Cratão do Zimbabwe e um conjunto de unidades tectono- ou lito-estratigráficas nos cinturões dobrados proterozóicos que foram carreados ou depositados no topo das margens norte e leste do Cratão. A sua fronteira setentrional corresponde ao Cinturão pan-africano de Damariano-Lufiliano-Zambeze e, parcialmente, à Zona de Cisalhamento de Sanângoè. (Ibid.,pág.104).

O Terreno do Gondwana Oeste engloba o Cratão do Congo/Tanzânia ou da África Central e um conjunto de unidades tectono - ou lito-estratigráficas nos cinturões dobrados do Proterozóico que foram carreados ou depositados sobre as margens sul e oriental do Cratão.

Na vizinha Tanzânia, a frente de carregamento do Cinturão de Moçambique, convergência para oeste, marca a fronteira entre os Terrenos do Gondwana Oeste e Gondwana Este. (Ibid.,pág.105).

Figura 4. Reconstrução do Gondwana



Fonte: GTK Consortium, 2006b.

O mapa acima mostra a reconstrução do Gondwana. ANS: Escudo Árabe-Nubiano; EAAO: Orógeno Este Africano-Antártida; M: Madagáscar; Da: Damariano; Z: Cinturão do Zambeze.

Mais para sul, em Moçambique, esta sutura não está bem definida, mas no Bloco de Tete-Chipata (um pequeno fragmento tectónico rodeado pela Zona de Cisalhamento de Sanângo e pelo Deslocamento de Mwembeshi), esta sutura corresponde supostamente ao contacto entre o domínio maior orientado WSW-ENE e o Grupo da Angónia orientado NW-SE. Com a

mesma orientação anterior, a *Suite* de Furancungo representa supostamente o muro da massa carreada da Angónia, mas pertence ao Terreno do Gondwana Oeste. (Idem.,pág.110).

O Terreno do Gondwana Este na Tanzânia abarca o soco cristalino (Granulitos Orientais), a leste da sutura pan-africana. Mais para sul compreende rochas no Malawi e na parte norte de Moçambique (Idem.,pág.114).

Figura 5. O Cratão do Zimbabwe



Fonte: (Adaptado de GTK Consortium, 2006).

A figura acima mostra o mapa simplificado do Cratão do Zimbabwe, ilustrando as principais unidades tectono-estratigráficas.

2.4. Enquadramento geológico

Moçambique tem uma geologia bastante diversificada, existindo ocorrências minerais com uma vasta potencialidade económica. Do ponto de vista geológico apresenta duas unidades geológicas: O Pré-câmbrico e o Fanerozóico.

2.4.1. O Pré-Câmbrico

O Pré-Câmbrico é uma unidade constituída por rochas mais antigas formadas há mais de 600 milhões de anos. Esta formação ocupa uma superfície de 534 mil km², equivalente a 2/3 do território moçambicano, localiza-se na região centro-ocidental e norte de Moçambique. Em

Moçambique as rochas pré-câmblicas dividem-se em duas partes; Pré-câmbrio inferior ou arcaico – representado pelo cratão rodesiano, é constituído por rochas metamórficas de origem magmáticas e sedimentares. Localiza-se no sistema de Manica e tem uma idade de 200 milhões de anos e é constituída pelas formações de Macequese, Mbeza e Vengo. O Sistema Manica prolonga-se para o interior do Zimbabwe onde forma o cinturão de ouro de Muntara e Udzi. Pré-câmbrio superior – conhecido por cinturão de Moçambique (Mozambique Belt), são rochas que datam 500 milhões de anos e divide-se em 3 províncias geológicas: província de Moçambique, província de Niassa e província de Médio-Zambeze. (GTK Consortium, 2006 pág. 51).

O Pré-Câmbrio na região Norte de Moçambique é caracterizado por rochas de médio e alto grau e constitui a extremidade sul do cinturão de Moçambique definido por Holmes (1951). O cinturão de Moçambique é parte de um cinturão orogénico maior (orógeno leste africano) que ocorre ao longo da costa leste de África, estendendo-se de Norte de Moçambique ao Sudão e Etiópia. (ibid.,pág.52).

A região Nordeste de Moçambique foi inicialmente descrita como sendo caracterizada pela ocorrência de gnaísseis que sofreram dobramento, xistos e anfibolitos com intrusões sintectónicas de massas graníticas. (Holmes, 1918) e (Oberholzer,1968), nos seus trabalhos reportaram a ocorrência de metassedimentos, micaxistos, quartzitos e rochas charnoquíticas perto da fronteira com Malawi.

2.4.2. O Fanerozóico

Do ponto de vista geológico, o Fanerozóico em Moçambique é constituído essencialmente por rochas sedimentares que se formaram entre 300 e 70 milhões de anos. Essas rochas incluem também as formações eruptivas (magmáticas) como basaltos e riolitos e se podem encontrar junto a fronteira de Namaacha. Ocupa quase na totalidade as províncias de Inhambane, Gaza e Maputo e vai se estreitando para o norte até ao curso do rio Rovuma ocupando 1/3 do território nacional. A cobertura Fanerozóica em Moçambique compreende sedimentos terrestres e marinhos e rochas (sub-) vulcânicas associadas pós-Pan-Africanas, geralmente (sub-) horizontais. Fazem parte do Fanerozóico as formações de Karoo que se localizam nas províncias de Cabo delgado, Niassa, Tete, Manica e sofala. Os segmentos de Karoo são caracterizados pela sua origem continental e estão depositados nas falhas, sobretudo nas províncias de Manica e Tete. (GTK Consortium, 2006 pág. 60).

Em Moçambique o karoo tem 3 divisões: indiferenciado, inferior e superior. Supergrupo Karoo – As rochas Karoo de Moçambique ocorrem em várias estruturas do tipo Graben de Rift/margem passiva. Estas incluem (de norte a sul) o Graben Metangula (Província de Niassa), Bacia Rovuma (Província de Cabo Delgado) e o Graben do Meio- Zambeze (Província de Tete). Mais ao sul, rochas vulcânicas básicas e ácidas dos monoclinios de Nuanetsi-Sabi e Libombo compõem a maior parte da sequência Karoo (idem.,pág.62).

O Grupo Karoo Inferior – A história deposicional do grupo Karoo Inferior inicia-se com a glaciação da idade correspondente à Dwyka (Carbonífero Superior) e termina com a deposição de clásticos mistos de granulação grosseira a fina durante o Permiano. O Grupo Karoo Superior compreende uma série de sucessões terrestres, juntamente com rochas (sub-) vulcânicas inter-estratificadas ou intrusivas de idade Triássica Inferior a Jurássica Inferior, incluindo as Suítes Rukore e Gorongosa, bimodais, agora datadas de 180-190 Ma. (Idem.,pág. 70).

A cobertura Fanerozóica é convenientemente subdividida (da base ao topo) em supergrupo Karoo e sequências depositadas contemporaneamente com o desenvolvimento do Sistema de Rifte da África Oriental. O primeiro, depositado durante o Evento Karoo, anuncia a separação abortada do Gondwana. As sequências do Rift da África Oriental compreendem uma assembleia vaga de sedimentos e rochas (sub-) vulcânicas associadas, que podem ser relacionadas com o rifteamento, migração e dispersão do Gondwana. O desenvolvimento do sistema de Rifte da África Oriental (SRAO) foi superposto aos últimos processos geodinâmicos. (Idem.,pág. 72).

O Karoo é bastante importante pois que possui enormes jazigos de carvão germânico, perlites, ágatas e bentonites. Em Moçambique o Jurássico localiza-se nas províncias de Tete e Cabo Delgado, o Cretácico localiza-se na província de Tete e é constituído por rochas sedimentares, o cretácico possui jazigos de gás natural e sienítos utilizados na produção do alumínio.

O Terciário e Quaternário: estas duas formações têm características litológicas semelhantes. As rochas quaternárias resultam da decomposição e destruição das rochas do terciário. Estas duas rochas dominam o sul do rio Save quase na totalidade. São compostos de dunas, calcário, lacustre, aluviões e Coluviões.

Moçambique tem uma variedade de minerais que são agrupados em minerais energéticos, metálicos, não metálicos e águas minerais-medicinais como pode se observar na tabela 2

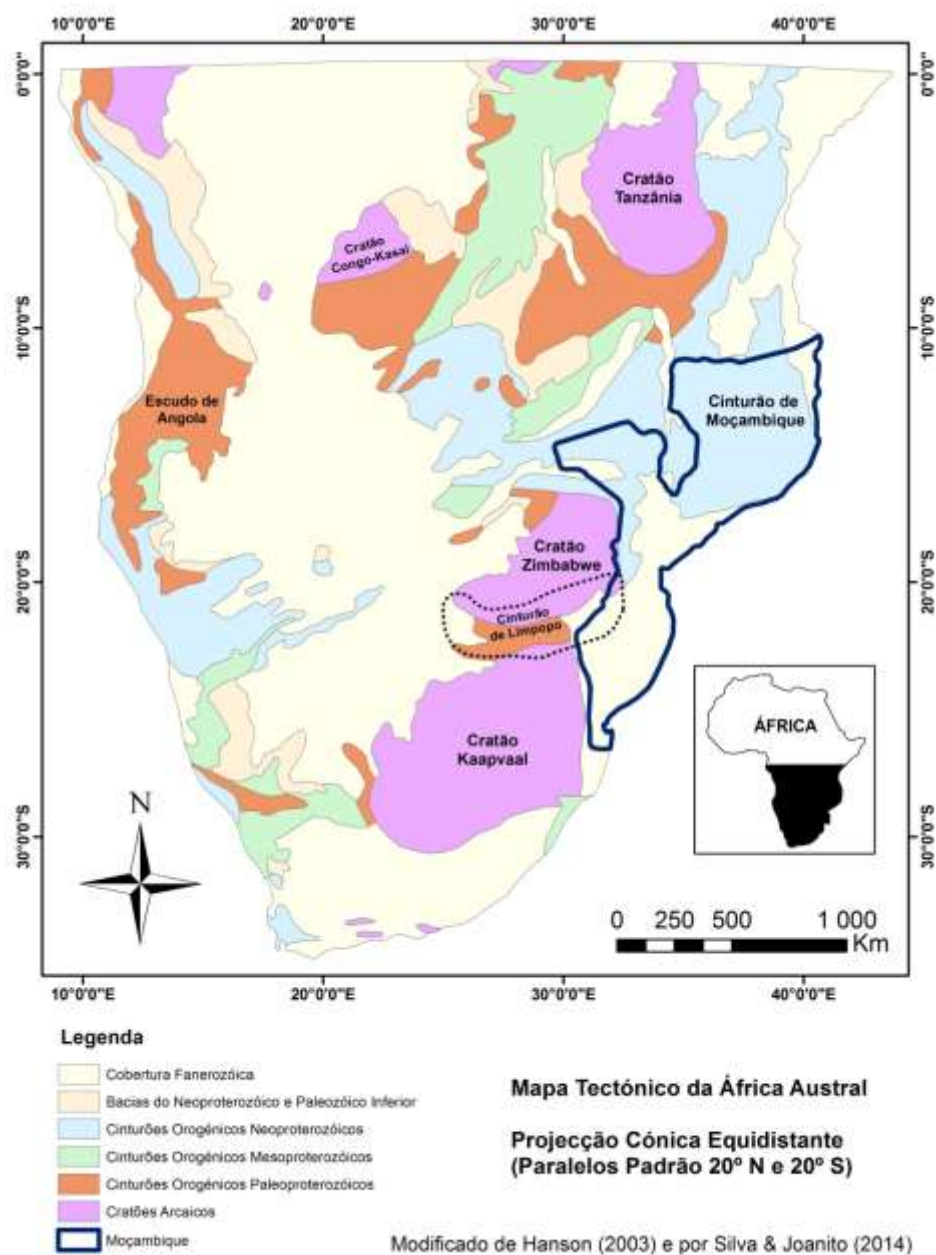
resumo a seguir se apresenta, que contempla alguns recursos minerais e suas áreas de ocorrência em Moçambique.

Tabela 2. Recursos minerais e suas ocorrências

Recursos		Áreas de ocorrência
Minerais energéticos	Carvão	Tete, Manica e Niassa
	Petróleo	Bacias de Rovuma, Zambeze e Save
	Gás natural	Cabo Delgado e Inhambane
Minerais metálicos	Ouro	Nampula, Manica Tete e Zambézia
	Ferro	Manica e Nampula
	Cobre	Manica e Tete
	Areias pesadas	Gaza, Nampula e Zambézia
	Mármore	Cabo delgado (Montepuez)
	Grafite	Cabo delgado (Ancuabe), Tete e Nampula
Minerais não metálicos	Fluorite	
	Pedras preciosas e Semi-preciosas	Zambézia, Nampula, Cabo Delgado, Niassa e Tete
	Apatite	Nampula e Tete
	Bentonite	Maputo
	Bauxite	Manica E Zambézia
	Calcário	Maputo, Sofala e Nampula
	Cauline	Nampula e Zambézia
	Argila	Em todo país

Fonte: (CÍLET: 1989)

Figura 6. Mapa da África Austral



Fonte: Modificado de Hanson (2003) e por Silva & Joanito (2014)

A geologia do norte de Moçambique pode ser subdividida em: (1) domínio estrutural da faixa de cavalgamento do Lúrio, (2) a própria faixa de cavalgamento do Lúrio e (3) domínio estrutural sul da faixa de cavalgamento do Lúrio, isto é, a sub-Província de Nampula. (Idem.,pág. 85).

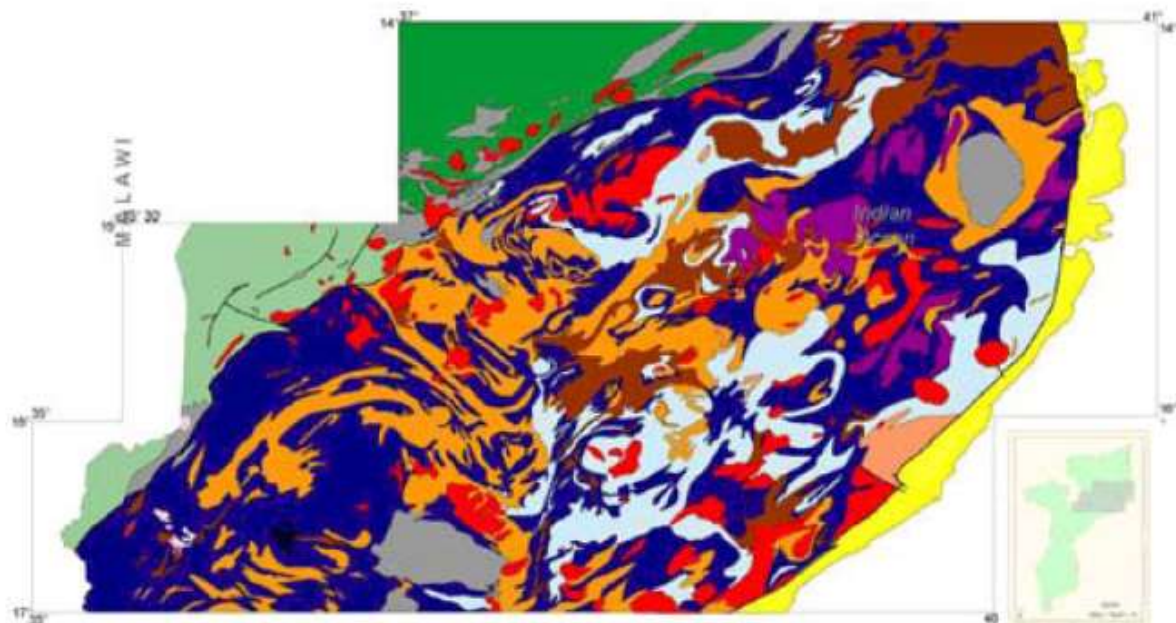
Na zona norte de Moçambique, podem ser identificadas as seguintes unidades tectono-estratigráficas):

- O Complexo da Ponta Messuli, que é um fragmento de soco paleoproterozóico (1954 ± 15 Ma), constituindo a parte norte-noroeste do soco cristalino do norte de Moçambique;
- O Grupo de Txitonga, de baixo grau e de idade desconhecida, sobrejacente no complexo acima referido;
- O soco cristalino a sul do *Graben* de Maniamba, de idade do Karoo, e ao norte da Faixa do Lúrio, predominantemente composto por gnaisses mesoproterozóicos (1110 a 990 Ma), que fazem parte (de leste para oeste) dos Complexos de Unango e de Marrupa, e por *nappes* pan-africanas, compreendendo (de leste para oeste) os Complexos de M'Sawise, Muaquia, Xixano, Nairoto, Montepuez, Lalamo e Meluco (GTK Consortium, 2006d; Bingen *et al.*, 2007).

A Faixa de cavalgamento do Lúrio, de orientação WSW-ENE, separa o domínio estrutural norte do bloco do soco cristalino sul da sub-Província de Nampula. Em termos litológicos, a Faixa de cavalgamento do Lúrio pode ser considerada como uma *melange* tectónica, incluindo granulitos e gnaisses cisalhados, incorporados no Complexo de Ocuá e metassedimentos do Complexo de Montepuez (GTK Consortium, 2006d).

O soco cristalino da parte sul da sub-Província de Nampula, a sul da Faixa do Lúrio, compreende o Complexo de Nampula e os *Klippens* de Monapo e de Mugeba (735 a 550 Ma), supostamente relacionados com a Faixa do Lúrio.

Figura 7. Geologia simplificada da sub-Província de Nampula



Fonte: (GTK Consortium, 2006d; Macey *et al.*, 2006).

A figura acima mostra a Geologia simplificada da sub- província de Nampula. Azul-escuro: Complexo de Mocuba; Azul-claro: Gnaisses de Mamala; Púrpura: Gnaisses de Rapale; Castanho-escuro: Complexos de Molócuè e de Mecubúri; Castanho-claro: Suite de Culicui; Preto: Complexo do Alto-Benfica; Cinzento: Complexo de Ocua (incluindo os *Klippen* de Monapo e Mugeba); Verde-claro: sub-Província de Unango; Verde-escuro: sub- província de Marrupa; Vermelho: Suites de Murrupula e de Malema

As rochas do Complexo de Nampula compreendem orto e paragneisses mesoproterozóicos (1125-1075 Ma) pertencentes à Suite de Mocuba, Grupo de Molócuè (> 1125 Ma), Suite de Culicui (1075 Ma) e o Grupo do Alto Benfica, intruídas por granitóides câmbrios e ordovícicos pan-africanos (530-450 Ma) pertencentes à Suite de Murrupula e de Malema, e por pegmatitos (480-430 Ma), (Idem., pág. 96).

Em Moçambique, os tipos de rochas calcárias são:

- Calcário Sedimentar, calcários dolomíticos, margas, calcários lacustres- os mais importantes depósitos; cristalina - mármore de composição diferente, usadas localmente no passado para a produção de cal; vulcânico- carbonatitos, principalmente mineralizados (apatite, terras raras, etc)

Os Calcários sedimentares e margas estão presentes em diferentes níveis na sequência sedimentar do litoral de Moçambique. As duas bacias sedimentares são: bacia de Moçambique no sul do país a partir da fronteira com o sul-africano à margem do Zambeze delta N; bacia do Rovuma, na fronteira com a Tanzânia e, finalmente, a uma estreita faixa sedimentar estreita entre ambas bacia.

Os recifes de corais são uma fonte de calcário puro excelente, em torno de amplas camadas de areia de coral e lama. Calcários cristalinos-mármore estão presentes em quase todos os complexos cristalinos de Moçambique, incluindo Arqueano e rochas pré-cambrianas. São rochas sedimentares originalmente metamorfosearam durante as várias fases orogénicas e depositado ou como uma plataforma ou sedimentos geossinclinal.

Segundo (Cílek:1989), o mais velho de calcário cristalino de Moçambique é o do Arqueano greenstone belt-do Cráton do Zimbábue. Das três formações, Macequece, Mbeza e Vengo, a última consiste em xistos sericíticos e cloríticos e filitos, incluindo xistos negros com bandas menores de mármore e conglomerado. O mármore foi usado para a produção de cal, perto da cidade de Manica.

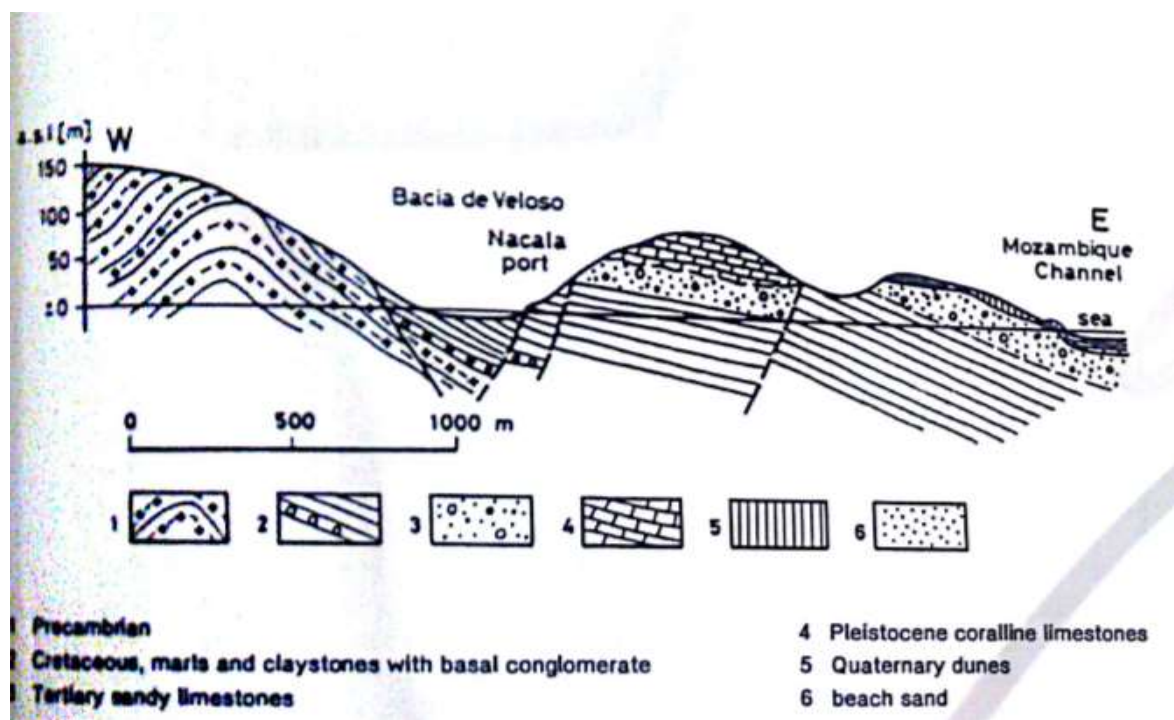
Nas proximidades de Nacala Porto, calcários de corais do Pliocénico-Pleistocénico, uma plataforma de coral levantou, 5-10 metros acima do nível do mar, esses calcários são usados e misturados com argilas de idade Cretácica perto do limite de rochas cristalinas. Na fábrica de cimento em Nacala encontra se pedreira de calcário de corais, espessura cerca de 15 metros, a partir da parte Este da península de Nacala, e argila da baía de Nacala.

Um depósito de calcário coral está em Relanzapo (Nacala), argilas estão disponíveis a partir de duas localidades: Quissimanjulo de argilas Terciárias e Natimanga (Cretácico).

Segundo a figura (8) abaixo, a análise média, seção transversal de área Nacala Porto, temos:

- 1 - Camada superficial
- 2- Calcário coral solta
- 3- Compacto calcário coral
- 4- Análises de controlo Relanzapo calcário
- 5- Argilas da Quissimajulo (Terciário)
- 6- Argilas da Natimanga (cretáceo)

Figura 8. Seção transversal de área Nacala Porto



Fonte: (Cilek, 1987)

Na península de Nacala ocorrem rochas de idade compreendida entre o Pré-Câmbrico e o Quaternário, havendo também ocorrências de formações recentes. Existe uma importante lacuna estratigráfica compreendida entre o Paleozóico e parte do Mesozóico (Triásico e grande parte do Jurássico). (Cilek, 1987).

As rochas mais antigas, rochas cristalinas, condicionadas por falhas, ocorrem na zona oeste de Baía de Nacala enquanto as rochas predominantes na região se desenvolvem para este pertencendo a sequência sedimentar da chamada “Bacia do Rovuma” devido a pequena

inclinação para este, as rochas mais antigas ocorrem a oeste da Península e as mais recentes a este.

Estratigraficamente ocorrem na península de Nacala as seguintes formações definidas da mais antiga para a mais recente e de oeste para este:

- ✚ Soco cristalino pré-câmbrio, constituído principalmente por gnaisses, migmatito e granitóides;
- ✚ Formação de Cocumi é a formação sedimentar mais antiga da península e é constituída por calcário e calcários argilosos de cor cinzenta azulada, com uma espessura total de cerca de 30 metros;
- ✚ Camada de Nacala (formação de Pemba) sequência sedimentar constituída por duas formações; camada de Natimanga e de Nacala.

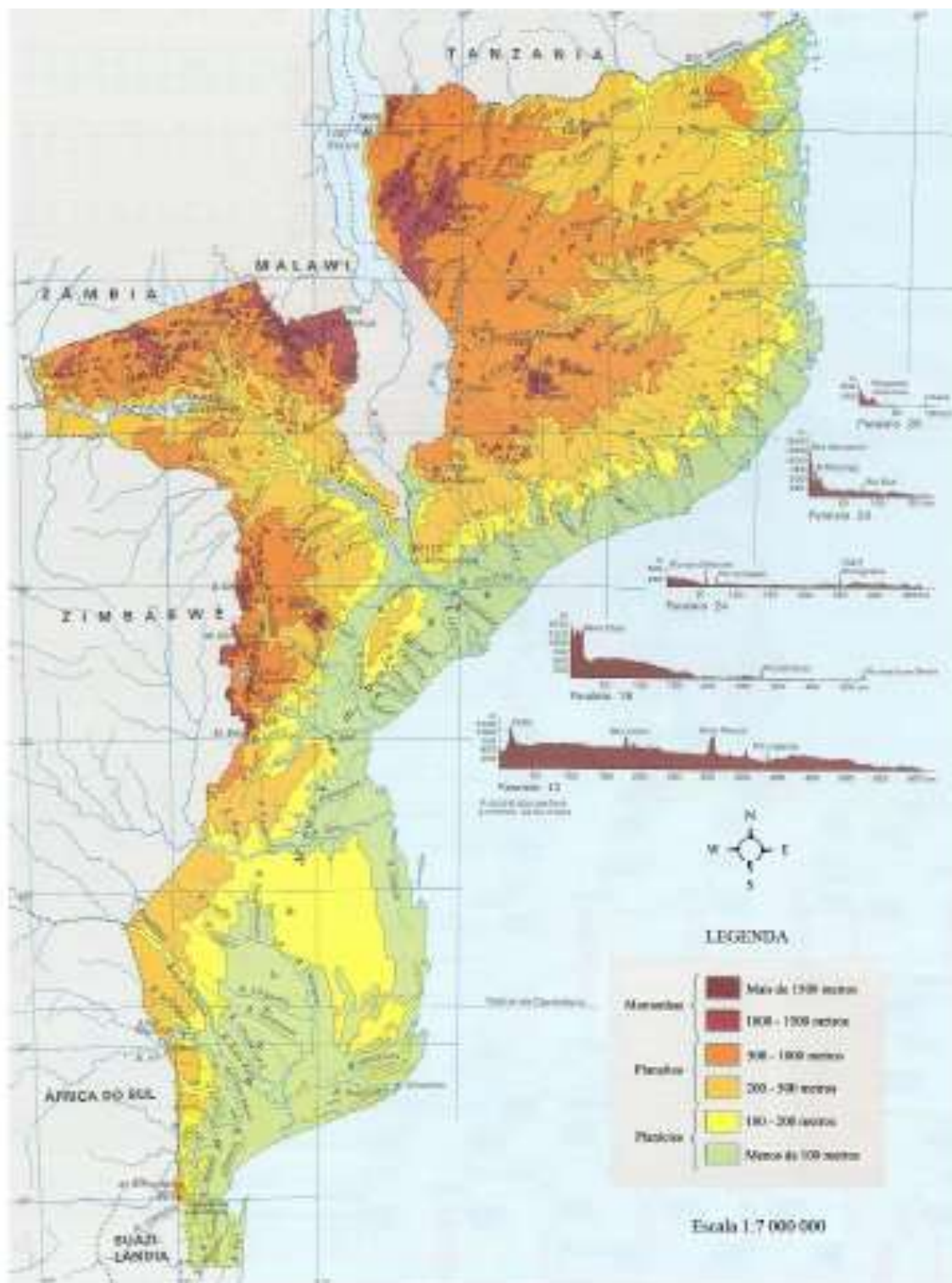
2.4. Enquadramento geomorfológico

A geomorfologia de Moçambique é caracterizada por uma série de unidades fundamentais separadas por escarpas de erosão em recuo: Zonas de montanhas com cotas superiores a 1000 metros; regiões de grandes planaltos com cotas variando dos 1000 aos 500 metros; planaltos médios com cotas entre 500 e 200 metros; zonas dos grandes planaltos costeiros com cotas inferiores a 200 metros. (King, 1962).

De acordo com a altitude, identificam-se em Moçambique, planícies, planaltos, montanhas e depressões. Cerca de metade (44%) do território moçambicano é constituído por planície, com altitudes até 200 metros. O relevo moçambicano é o resultado da interacção de agentes internos (vulcanismo, tectonismo e abalos sísmicos), responsáveis pela formação de montanhas, planaltos e agentes externos responsáveis pela erosão (rios, ventos, seres vivos, lagos mares e oceanos, (Muchangos, 1999).

O relevo moçambicano tem um formato de escadaria, ou seja, ao caminhar do litoral ao interior temos 3 degraus em que o mais baixo corresponde a planície no litoral, o intermediário são planaltos e o mais alto, as montanhas no interior, como se pode ver no mapa 11 apresentado de seguida.

Figura 9. Mapa de hipsometria e hidrografia de Moçambique



Fonte: MINED, 1986.

As planícies localizam-se no sul do Save e ao longo do litoral de Moçambique desde a foz de rio Rovuma até ponta de ouro. Ocupam 1/3 do território nacional ou seja, 250 mil km² e têm altitude compreendida entre 0-200 metros.

Ao longo dos vales dos principais rios podemos destacar as seguintes planícies: planície de Incomáti, atravessado pelo rio Incomáti; planície de Limpopo, atravessado pelo rio Limpopo; planície do Save, atravessado pelo rio Save; planície de Buzi, atravessado pelo rio Buzi; planície do Lúrio, atravessado pelo rio Lúrio.

A geomorfologia de Moçambique pode ser descrita da seguinte forma: planaltos com (200 – 1000 metros de altura) localizam-se no centro e norte de Moçambique e dividem-se em 2 partes: Planaltos médios (200 – 500 metros de altitude); altos Planaltos (500 – 1000 metros de altitude). O planalto Moçambicano ocupa as províncias da Zambézia e Nampula; Planalto de Niassa, na província de Niassa, ao longo do lago Niassa; Planalto de moeda, na província de Cabo Delgado; Planalto de Chimoio na província de Manica; Planalto de Marávia, na província de Tete junto a fronteira com Zimbabwe; Planalto de Angónia, na província de Tete junto a fronteira com Malawi. (Bondyrev, 1983).

A região montanhosa localiza-se na região centro de Moçambique sobretudo nas províncias de Zambézia Tete e Manica; Cadeia de Libombos, ao longo da fronteira com a Swazilândia, África de sul e Zimbabwe nas províncias de Maputo e Gaza, o ponto mais alto é o monte M'ponduine com 801 metros de altitude; Cadeia Chimanimani, na província de Manica, o ponto mais alto é o monte Binga com 2436 metros de altitude; Planalto de Chire- Namúli, na província da Zambézia e o ponto mais alto é o monte Namúli com 2419 m e a serra – Inago com 1807 metros; Cadeia de Maniamba-Amaramba (Serra Jéci), na província de Niassa ao longo do lago Niassa e o ponto mais elevado é Serra Jéci, 1836m. (Ibid.,pág.15).

Resumidamente, em Moçambique com uma extensão maior (51%), ocorrem superfícies aplanadas com altitudes compreendidas entre 200 e 1.000 metros, desenvolvidas na metade Norte de Moçambique e constituindo o Planalto Moçambicano. Distinguem-se em Moçambique duas zonas planálticas. A primeira, de altitudes entre 200 e 500 metros é designada por planaltos médios e está representada ao Norte do paralelo 17° Sul. A segunda, designada por altiplanáltica, tem altitudes superiores a 500 metros. A sua maior ocorrência verifica-se no Norte e Centro do País. A zona de planaltos com altitudes entre os 200 e 500

metros, situa-se nas províncias de Cabo Delgado, Nampula e interior de Inhambane. As áreas de montanhas que incluem formas de relevo com altitudes superiores a 1.000 metros, são pouco extensas (5%) e não constituem faixas contínuas, à semelhança dos planaltos. A sua maior ocorrência regista-se a Norte do paralelo 21° Sul, nas províncias de Niassa, Zambézia, Tete e Manica. (Idem).

CAPITULO III

3. Metodologia do trabalho

A metodologia adoptada para a preparação deste trabalho é multidisciplinar e implicou a interpretação de informação variada de diferentes áreas de conhecimento, nomeadamente a geológica, mineralógica, geoquímica, geofísica, geomorfológica, geográfica, histórico-cultural, entre várias outras. Para a sua efectivação procedeu-se ao levantamento e recompilação geral da bibliografia disponível sobre as diversas áreas de investigação abrangidas pelo estudo, procedendo-se a respectiva síntese bibliográfica.

Pela sua diversidade e complexidade, o tema em questão comportou dificuldades acrescidas sobretudo a escassez de algumas bibliografias e trabalhos anteriores sobre a exploração e beneficiação dos calcários sobre a área em estudo.

3.1. Trabalho do gabinete

Numa primeira etapa procedeu-se a um levantamento da informação em matéria de recursos minerais no Ministério de Recursos Minerais e Energia de Moçambique no que concerne aos minerais e rochas industriais e a legislação moçambicana aplicável ao sector mineiro. Numa segunda etapa, procedeu-se a uma pesquisa da informação actualmente disponível sobre a geologia de Moçambique, tendo em vista a desenhar se um plano de pesquisa e os recursos materiais e financeiros para a execução dos trabalhos.

Para a concretização do presente trabalho de Dissertação, foram utilizados como procedimentos metodológicos, pesquisas bibliográficas e documentais que serviram de embasamento teórico, além do método indutivo, baseado na observação dos fatos, fenómenos da realidade objectiva, servindo assim para o fornecimento de conhecimento empírico acerca do estudo. Ou seja, primeiramente foi necessário a realização do levantamento teórico em artigos científicos, textos, ensaios e livros ligados a matéria em estudo para viabilizar o desenvolvimento da redacção do trabalho, tendo como suporte a história da evolução geológica de Moçambique e do mundo em geral.

O trabalho de gabinete consistiu ainda na análise de algumas experiências internacionais como Portugal, Brasil, EUA entre outros países, no concernente ao uso de calcário como matéria-prima aditiva para a produção de cimento.

3.2. Trabalho do campo

O trabalho de campo foi efectuado em Moçambique, província de Nampula distrito de Nacala Porto, uma região situada a norte do País que consistiu num estágio profissional na empresa Cimentos de Moçambique, do grupo Cimpor, na área de controlo de qualidade e estatística-Laboratório, entre os dias 14 de Agosto a 13 de Setembro de 2013 e posteriormente a ida à pedreira de extracção do calcário de Relanzapo na localidade de Quissimajulo a 18 km da respectiva fábrica de cimento. Para alcançar os objectivos previamente propostos no trabalho foi necessário estabelecer um plano de acção e consequentemente os métodos a utilizar.

Numa primeira fase de adaptação, foi necessário conhecer e compreender a realidade da empresa identificando qual a sua filosofia, valores e princípios pelos quais a mesma se rege. Deste modo, atingido este objectivo foi essencial o contacto directo com os vários Departamentos, consulta da intranet e recorreu-se à leitura de dossiers fornecidos pelo técnico da empresa.

Os trabalhos de campo requerem a utilização da metodologia empirista, a fim de concretizar os objectivos almejados; afinal a experiência sensível possibilita maior facilidade de compreensão de determinados objectos e conceitos. Neste contexto foi possível visitar toda empresa, ou seja, todos os sectores nomeadamente; visita a pedreiras para recolha de amostras, transporte do material, ensilagem e pré-homogeneização, moagem de cru, transporte, ensilagem e homogeneização, cozedura, controlo do processo, moagem de cimento, controlo de qualidade do cimento, embalagem e expedição.

Neste sentido, os trabalhos de campo realizados permitiram um estudo profundo da área, possibilitaram um conhecimento profundo do objecto em análise, facilitaram o trabalho, bem como a obtenção de maiores detalhes. Este estudo envolveu levantamento bibliográfico das fontes locais, cartográfico, estatístico e contactos com interlocutores do processo e outras sensibilidades que tornaram o trabalho mais credível, ou seja, foi possível recolher imagens, experiências vivenciadas com trabalhadores que estão na fábrica a 15, 20, 25, 30 e 35 anos de trabalho na empresa entre outros elementos.

A fim de ilustrar o estudo realizado, é imprescindível destacar a importância da obtenção de imagens em trabalhos de campo, visto que as mesmas podem ser úteis em análises mais aprofundadas bem como para comparações posteriores a ida ao campo.

Como propõe Justiniano (2005): [...] a imagem ilustra e documenta eventos naturais e sociais que ocorrem num determinado tempo e lugar [...]. O Registro de imagens para ilustração de relatórios deve estar previsto no planeamento dos trabalhos de campo; porém, no trabalho de campo podem surgir eventos importantes não previstos em gabinete. (Justiniano, 2005, pág. 187). Face a isso, foi possível obter fotografias retratando actividades de diversos sectores da empresa que ajudaram a interpretar alguns factos.

Em cada espaço percorrido foram efectuadas as seguintes actividades:

- Delimitação e/ou localização do sítio no mapa geológico;
- Caracterização geológica de outros aspectos de interesse existentes;
- Preenchimento de algumas fichas sobre a conformidade do cimento tendo em conta com os padrões internacionais;
- Registo fotográfico dos pormenores observados.

3.3. Revisão bibliográfica

Nesta parte do capítulo apresenta-se de forma resumida a caracterização, fabricação, composição e exigências químicas do cimento Portland. Apresenta-se também uma revisão de trabalhos relacionados com o tema proposto em que se aplicam os métodos químicos de análise empregados neste trabalho. Também far-se-á referência a trabalhos em diversas vertentes científicas, publicados por alguns autores, e que estão directamente relacionados com a área geológica em estudo. Far-se-á menção em cada trabalho aspectos que se julgam serem os mais relevantes para este trabalho. De salientar que existem muito poucos trabalhos científicos publicados no domínio da geologia sobre a região de estudo, mas podem se destacar alguns:

(a) “*The Pre-Cambrian and Associated Rocks of the District of Mozambique*”, publicado por Holmes em (1918);

(b) Notícia Explicativa do Esboço Geológico de Moçambique na escala 1:2000000, publicado em 1959 por A.J. Freitas;

(c) “Esboço geológico do Pré-câmbrico do Norte de Moçambique”, na escala 1: 1 000000, publicado em 1982, por T. Cirilo;

O trabalho intitulado por “possibilidade de aplicação dos calcários dos Distritos de Magude e Inharrime na produção do Cimento” publicado por Adérito José Cavele em 2010;

“*Industrial Minerals of Mozambique*” by Dr. Václav Cílek 1989;

Mina de calcário de Matutuíne, Moçambique (relatório de avaliação impacto ambiental e social) Elaborado pela *coastal & environmental services Mozambique limitada*, em 2012.

A tabela 03 mostra alguns teores de calcários estudados por alguns autores. Através dos dados contidos na tabela em referência, pode-se fazer um estudo comparativo com a amostra usada no presente trabalho e tirar-se algumas conclusões em termos de seus teores.

Tabela 3. Composição química (%) dos calcários estudados por alguns autores

Autor	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	RT	PR	- Aplicação
Cilek (1989) e)	>=44.8	<=3,3	-	-	-	<=0,5		<=0,1	<=0,3		-	-	Produção do cimento
Cimento Itambé (2008)	47,82	2,08	1,83	0,96	6	0,06	0,4	-	0,37		-	40,52	
	40,38	1,23	1,1	0,66	3,73	0,22	0,18	-	0,01		-	40,38	
	49,8	1,48	0,71	1,47	6,75	0,12	0,1	-	1,1		-	38,55	
Audu e Muhammad	46.08-54.85	0.44-10.92	0.00-0.188	0.178-0.622	0.94-2.51	0.012-0.296	0.049-0.270			0.67	1.43-2.73	40.97-47.24	Avaliação da pureza
Ávila et al. (2007)	49.48	0.58	0.47	3.5			0.11						-
Lozano e Bernal (2005)	55.52	0.29	0.153	<0.006	0.07	<0.03	<0.05	<0.004		0.011			-
Depósito de Cheringoma**	49.9	0.92	2.98	0.92	5.30								Produção do Cimento
Depósito de Búzi**	54.80	0.49	0.36	0.23	0.92	-	-	-	-	-	-	-	
Depósito de salamang**	43.88	0.71	19.70	3.15	7.47	0.67	0.19	-	-	-	-	-	-

Depósito de Inhambane**	49.99	-	1.24		2.11	-	-	-	-	-	-	-	-
Couto (1973)	40.9-50.97	0.05-4.07	0.55-4.91	0.19-8.00	-	-	-	-	-	0.25-14.32	-	-	-
	46.66-53.6	0.40-2.50	0.28-9.18	0.22-2.32	-	-	-	-	-	2.58-8.42	-	-	-

Fonte:

e) Este autor especifica ainda que as percentagens de quartzo+argila não devem superar 3% (Moçambique). *citados por Sampaio e Almeida (2005); Matéria-prima utilizada em algumas indústrias do Brasil, **Dados extraídos de Afonso e Marques (1998)

CAPÍTULO IV

4. Tecnologia de fabricação do cimento

4.1. Cimento Portland

Cimento Portland é a denominação técnica do material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O cimento Portland foi criado e patentado em 1824, pelo construtor inglês, Joseph Aspdin. O cimento foi assim chamado, pois o concreto que se obtinha com ele assemelhava-se a uma famosa pedra de construção proveniente da ilha de Portland, nas vizinhanças da Inglaterra. (Araújo (2009).

O cimento Portland é um material em forma de pó, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Estes materiais ao serem misturados com água hidratam-se, endurecendo a massa e tendo por consequência uma elevada resistência mecânica.

O Cimento Portland é produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de cal, sílica, alumina, magnésia e óxido de ferro. E o clínquer é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente. (Ibid.,pág.31).

O cimento é um dos materiais de construção mais utilizados na construção civil, por conta da sua larga utilização em diversas fases da construção. O cimento pertence à classe dos materiais classificados como aglomerantes hidráulicos, esse tipo de material em contacto com a água entra em processo físico-químico, tornando-se um elemento sólido com grande resistência à compressão e resistente à água e a sulfatos. (Ibid.,pág.33).

4.2. Fabricação e composição

Na indústria cimenteira, calcário, argila e minérios de ferro são usados como matérias-primas para a produção do cimento Portland, para tal estes materiais são misturados em proporções controladas e moídos de modo a formar o *Cru* (Raw meal), que é calcinado a altas temperaturas, entre 850-1500oC, obtendo-se o *clínquer*. Depois de esfriado, o clínquer é moído com um regulador de presa (geralmente gesso) e com adições de substâncias que contribuem para as suas propriedades ou facilitam o seu emprego tais como, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos; na realidade, são as adições que definem os tipos de cimentos gerando-se assim o produto final, o cimento, (Ibid.,pág.45).

Os componentes básicos do cimento Portland são: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Estes componentes interagem uns com os outros formando compostos complexos, uma mistura de silicatos e aluminados de cálcio que compõem o clínquer, que são responsáveis pelas propriedades físicas do cimento. O cimento contém também, como óxidos menores, MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O e TiO_2 (idem.,pág. 50).

O cimento: basicamente de argila, calcário, areia e uma pequena quantidade de compostos contendo ferro que são aquecidos num forno robusto e de grande porte, a altas temperaturas, durante tempo suficiente para reagirem quimicamente e se transformarem em pequenas bolas chamadas clínquer, como se pode ver na figura 12 abaixo.

Figura 10. O clínquer



Fonte: [1]¹

O clínquer é então misturado com gesso e moído formando um pó bastante fino chamado cimento. O cimento por seu lado, é o ingrediente chave na produção do concreto, componente vital dos edifícios, estradas, casas e escritórios.

¹ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Hot_Clinker_2.jpg

Figura 11. Tecnologia de fabricação de cimento



Fonte: Hot_Clinker_2.jpg

4.2.1. Processo de fabricação

O cimento é uma pequena percentagem de argila, queimada juntamente com o calcário e que endurece na presença de água. O cimento é utilizado sob a forma de concreto. O concreto é uma mistura de cimento, areia e pedra e normalmente utilizado para preencher formas na moldagem de vigas e estruturas.

O cimento é preparado com 75-80% de calcário e 20-25% de argila. A matéria-prima é extraída das minas ou pedreiras britada e misturada nas proporções correctas. Esta é colocada em moinho de matéria-prima (moinho de cru) e posteriormente cozidos em forno rotativo a temperatura de 1450°C. (Oliveira, 2010).

Finalmente o clínquer é reduzido a pó em um moinho (moinho de cimento) juntamente com 3-4% de gesso. O gesso tem a função de retardar o endurecimento do clínquer pois este processo seria muito rápido se água fosse adicionada a clínquer puro. (Ibid.,pág.12).

Em casos especiais onde se necessite de cimento com características diferentes das que são produzidos se faz o pedido por encomenda. No mercado existe diversos tipos de cimento. Cada tipo tem o nome e a sigla correspondente estampada na embalagem para facilitar a identificação. Os tipos de cimento adequado aos usos gerais no meio rural encontram se na tabela a seguir

Tabela 4. Especificações de tipo de cimento

Tipos de cimento	
Nome	Sigla
Cimento Portland comum	CP I
Cimento Portland comum com adição	CP I – S – 32
Cimento Portland composto com escória	CP II – E – 32
Cimento Portland composto com pozolana	CP II – Z – 32
Cimento Portland composto com filer	CP II – F – 32
Cimento Portland de alto-forno	CP III – 32
Cimento Portland pozolânico	CP IV – 32

Fonte: Oliveira, 2010

Ainda o mesmo autor acima citado salienta a existência de outros tipos de cimento para usos específicos:

CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial;

RS – Cimento Portland resistente a Sulfatos;

BC – Cimento Portland de baixo Calor de Hidratação;

CPB – Cimento Portland branco.

Oliveira (2010), explica detalhadamente as especificidades de cada tipo de cimento constante na tabela 04 como a seguir se descrevem:

- Cimento Portland comum- CP I é o tipo mais básico. Uso em construções que não requeiram condições especiais e não apresentem ambientes desfavoráveis como exposição às águas subterrâneas, esgotos, água do mar ou qualquer outro meio com presença de sulfatos. A única adição presente no CP-I é o gesso (cerca de 3%, que também está presente nos demais tipos de cimento Portland). O gesso atua como um retardador de pega, evitando a reação imediata da hidratação do cimento. Este tipo de cimento é constituído por somente clínquer e gesso, sem adições; (Oliveira, 2010)

- Cimento Portland comum com adição CPIS. Mesma composição da CP I (clínquer+gesso), porém com adição reduzida de material pozolânico (de 1 a 5% em massa). Menor permeabilidade devido à adição de pozolana. O teor de clínquer+ gesso neste tipo de cimento deve estar entre 99% e 95%;(Ibid).

- Cimento Portland composto -CPII-E. Contém adição de escória granulada de alto-forno, consequentemente propriedade de baixo calor de hidratação. Composto de 94% a 56% de clínquer + gesso e 6% a 34% de escória, podendo ou não ter adição de material carbonatado no limite máximo de 10% em massa. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento (idem);
- Cimento Portland composto -CPII-Z. Contém adição de material pozzolânico que varia de 6% a 14% em massa, que confere ao cimento menor permeabilidade. Ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. Pode conter adição de material carbonatado (fíler) no limite máximo de 10% em massa (idem);
- Cimento Portland composto -CPII-F. Composto de 90% a 94% de clínquer +gesso com adição de 6% a 10% de material carbonatado (fíller) em massa. Recomendado desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, porém não é indicado para aplicação em meios muito agressivos (idem);
- Cimento Portland de alto-forno -CPIII. Contém adição de escória no teor de 35% a 70% em massa. Baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade. Recomendado tanto para obras de grande porte e agressividade (barragens, fundações de máquinas, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, obras submersas, pavimentação de estradas, pistas de aeroportos, etc.) como também para aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto simples ou armado (idem);
- Cimento Portland pozzolânico -CPIV. Contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa. Alta impermeabilidade e, consequentemente, maior durabilidade. O concreto confeccionado com a CP IV apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento Portland comum a longo prazo. Especialmente indicado em obras expostas à acção de água corrente e ambientes agressivos (idem);
- Cimento Portland de alta resistência inicial -CPV-ARI. Assim como o CP-I não contém adições (porém pode conter até 5% em massa de material carbonatado). O que o diferencia deste último é processo de dosagem e produção do clínquer. O CP V-ARI é produzido com

um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina – consequentemente este tipo de cimento tem uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. Recomendado o seu uso, em obras onde seja necessário a desforma rápida de peças de concreto armado (idem);

- Cimento Portland resistente a sulfatos. É recomendado para meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Cimento Portland de baixo calor de hidratação. É o cimento Portland de alto-forno com baixo calor de hidratação, tendo como sigla – CP-III-BC (idem);

- Cimento Portland branco. Mistura de calcário e caulim, que é uma argila branca, pois não possui óxido de ferro. Alta temperatura de cozimento torna-o mais caro. Existe o estrutural e não estrutural (idem);

- Cimento Portland aluminoso. Cimento obtido a partir de uma mistura de calcário e bauxita, possui cor negra. Usado em argamassas refractárias, resistem aos sulfatos. Deterioração com areia granítica, sem pega com temperatura superior a 30 °C, alto calor de hidratação. Humidade e alta temperatura podem levar ao colapso (idem);

- Cimento Portland de expansão controlada. Concreto sem expansão a partir do controle de cao e mgo. Uso restrito a alguns países;


- Cimento Portland de escória. Moagem da escória sem adições. Usa-se um catalisador para iniciar as reacções, pois sua reacção de hidratação é lenta. Usado em obras com problemas potenciais de reacção alcali-agregado, tem um pH alto (idem);

Resumidamente existe a seguinte simbologia para representar os tipos de cimento produzido:


 CP: Cimento Portland.

 I: Comum.

 II: Composto.

 III: De alto-forno.

 IV: Pozolânico.

 ARI ou V: Alta resistência inicial.

 S: Com sulfatos.

 E: Com escória granulada.

✚ Z: Com material pozolânico.

✚ F: Com filler.

✚ RS: Resistente a sulfatos.

Os requisitos exigidos para o Cimento Portland são: Índices químicos; perda ao fogo, resíduo insolúvel; Índices físicos: Finura na peneira 0,075 mm (nº 200); Área específica pelo permeabilímetro de Blaine; Tempo de início e fim de pega; Expansibilidade a quente e a frio, e resistência à compressão. (idem).

CAPITULO V

5. O Impacte da extracção do calcário na produção de cimento em Nacala

5.1. Ambiental

Os efeitos adversos da actividade extractiva sobre o meio ambiente incluem modificações fortes associadas aos processos de dinâmica superficial (subsidência, desprendimentos de massas de terras, instabilidade de taludes entre outros factores).

No entanto, o aumento da produção de minerais e rochas industriais traz consigo grandes problemas ligados ao ambiente no que concerne a gestão de resíduos gerados. O calcário é uma das matérias-primas aditivas essencial e indispensável para a produção de cimento. Neste capítulo pretende-se tratar do impacto ambiental e social dessa rocha industrial a várias vertentes.

A fábrica de Cimentos em Nacala, Moçambique é uma das unidades industriais mais importantes no distrito em referência de forma particular e de Moçambique em geral. Esta unidade fabril é concessionária da pedreira de calcário de Relanzapo, do Distrito de Nacala. Ela se dedica a extracção do calcário e posterior produção de cimento que mais tarde é vendido no mercado local e/ou internacional.

A produção de cimento tem importantes impactos positivos e também negativos a nível local e regional. Do lado positivo, pode se citar os empregos gerados pela indústria e novas oportunidades de negócios para a população local, particularmente em regiões mais remotas, onde existem poucas opções de desenvolvimento económico. Os impactos negativos incluem danos à paisagem, poeira e ruídos, e emissões de gases poluentes.

Na fase de construção de uma fábrica de cimento ou mina, o transporte de material gera impactos ambientais e sociais. Os principais impactos ambientais são: ruídos, vibração no solo, potencial contaminação dos solos por combustíveis, destruição de ecossistemas, e emissões de gases de efeitos de estufa (GEEs) e de poluentes locais pela queima de combustíveis fósseis.

A produção de cimento envolve a utilização de diversos materiais minerados, como o calcário, a argila o clínquer e o gesso. Como já mencionado antes, o calcário é a principal rocha mineral utilizada no processo de fabricação do cimento, é encontrada em abundância na

natureza sendo dos mais versáteis para a indústria. Entretanto a sua extracção causa impactos ao meio ambiente, biodiversidade e à estética da região. Do conjunto dos impactos negativos mencionados no trabalho também pode se citar a emissão dos poluentes locais, ou seja, a poluição do ar, e que para além de causar desconforto, pode ter efeitos perigosos nos seres humanos, animais e plantas, assim como nas comunidades biológicas, habitats e solo. A exploração de matérias-primas e a sua preparação criam diferentes fontes de emissões na produção de cimento, dentre essas fontes pode se destacar: trituração do cimento e seu empacotamento, assim como o transporte, armazenamento e expedição.

Pode se destacar também a emissão de material particulado. Historicamente, as emissões de material particulado (poeira) tem sido a principal preocupação na fabricação de cimento. Em adição à poeira gerada pela etapa de mineração, o material particulado é gerado também durante a trituração, no forno de clínquer, no resfriador de clínquer e na trituração do cimento. A dispersão do material particulado (MP) se dá devido às actividades de manuseio, empacotamento, armazenamento e pelo movimento de veículos pesados e de transporte do produto final, que muitas das vezes é feito sobre estradas não-pavimentadas, como é o caso da estrada que dá acesso a fábrica de cimentos em Nacala, que se encontra nessas situações o que agrava de certa maneira a situação.

O processo de fabricação do cimento também causa a emissão significativa de óxidos de nitrogénio (NO_x) e de dióxido de enxofre (SO_2). No caso concreto da fábrica em estudo, os gases formados nos fornos de cimento consistem fundamentalmente de N_2 (nitrogénio), CO_2 (dióxido de carbono), O_2 e vapor de água. Em adição podem conter pequenas quantidades de compostos de enxofre (SO_2), óxidos de Nitrogénio (NO) e NO_2 assim como monóxido de carbono (CO) e sulfeto de hidrogénio (H_2S), (MCT, 2010).

A fábrica utiliza energia eléctrica proveniente da central termoeléctrica de Nacala e da hidroeléctrica de Cahora Bassa em Tete, Moçambique. Segundo o plano de reabilitação de 1987, pretendia se aumentar sua capacidade de produção para 120 mil toneladas/ano para 1990, com uma reestruturação do processo produtivo que aumentaria a confiabilidade e segurança de produção e reduziria a emissão de poluentes, tal plano ainda não foi posto em prática.²

A poluição atmosférica gerada pela fábrica é significativa, atingindo uma área de 5km de raio com fumaça e poeira oriundas do processo produtivo. Em época de ventos mais intensos estes

² Segundo documentos em posse do autor nada consta que a actividade foi realizada

abrangem até o centro da cidade baixa atingindo até ao hospital de Nacala na parte sul e até a praia de Naherengue na parte Norte. Segundo fontes documentais da empresa que o autor teve acesso aquando do seu estágio na referida empresa, estima-se que 18000 habitantes dos bairros de Ribáue, Muazuane, Maiaia e Naherengue sofrem impactos decorrentes do funcionamento da fábrica.

As poeiras que se formam nas varias unidades de processamentos de cimento variam em grande medida em composição, distinguindo se os seguintes tipos principais: poeiras da matéria-prima (calcário, argila, areia, gesso, e cinzas), poeiras da farinha crua, poeira do forno de cimento (contidas no gás de escape), poeiras do clínquer; poeiras de carvão, poeiras do cimento.

Segundo o MCT (2010), aproximadamente 90% das emissões de CO_2 oriundas da indústria de cimentos ocorrem durante a produção de clínquer (50%), seja na calcinação ou na descarbonatação da matéria-prima ou com a queima de combustíveis no interior do forno (40%) (WBCSD 2009a, 2009b). Os 10% restantes resultam do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia eléctrica nas fábricas.

Pode se salientar também como outros impactos ambientais, o ruído e vibração. Durante o estágio na empresa o autor do presente estudo notou que as máquinas pesadas normalmente utilizadas na fabricação do cimento (trituradores, sopradores, compressores e mais) são as principais fontes de ruído e vibração. Actividades relativas á extracção do calcário também contribuem com esse tipo de impacto. Os efeitos acumulados de várias fontes de ruído e vibração podem afectar a saúde e bem-estar dos trabalhadores, assim como animais, plantas e a comunidade local.

Em contrapartida a extracção do calcário na praia de Relanzapo afecta a área extraída, como se pode ver na figura 11, alterando a paisagem local pela abertura de trincheiras de cerca de 4 cm de profundidade e taludes inclinados removendo a fina camada de solo das dunas costeiras, danificando a vegetação local e afugentando os animais silvestres. As tartarugas que desovam na área também são afectadas pela presença de seres humanos e máquinas abandonando esta praia como local de desova.

Figura 12. Pedreira calcária de Relanzapo em Nacala, alteração paisagística



Fonte: Captada pelo autor, Setembro 2013

As poeiras levantadas pela extracção e pelo transporte de calcário também causam danos localizados pela deposição de material sobre a vegetação local. A extracção de calcário abriu uma via de acesso a praia de Relanzapo antes inexistente, este vector de penetração humana pode ser perigoso para o ecossistema ali existente. A presença de caminhões e das escavadeiras também contribuem em certa proporção para perturbar a vida na praia e eventuais vazamentos de óleo e graxas localizadas.

Uma situação de impacto ambiental vista in locu pelo autor aquando do estágio na fábrica e idas frequentes na pedreira de calcário de Relanzapo em Nacala se relaciona com o transporte de sedimentos da pedreira para o mar e o aumento da erosão provocando a retirada da camada vegetal, como se pode conferir na figura 12.

Figura 13. Foto do calcário de Nacala, erosão provocada pela extracção



Fonte: Captada pelo autor, Setembro 2013

Como se pode observar nas imagens 11 e 12 acima descritas, a extracção de calcário em Relanzapo esta criando uma vala de 4 metros de profundidade provocando um impacto visual significativo. Esta alteração contribui para a erosão do terreno, aumentando o dano sobre a vegetação das dunas.

5.2. Social

A fábrica de cimento de Nacala, localizada na cidade portuária do mesmo nome, é classificada pelo Governo de Moçambique como sendo do tipo “A” (indústria pesada) que produz cimento para construção civil: edifícios, estradas, pontes, entre várias aplicações. Ela ocupa uma superfície de 70 000 m². Segundo o relatório anual da empresa, em 2012, criou cerca de 500 empregos directos. A capacidade de produção excedentária do cimento na região é suficiente para cobrir as necessidades de consumo de cimento.

A extracção do calcário na praia de Relanzapo em Nacala ajuda a viabilizar a actividade da fábrica de cimento gerando adicionalmente alguns empregos para as pessoas destacadas a extracção e transporte do calcário e oferecendo uma alternativa para o transporte local visto que não há transporte semicolectivo na área e o caminhão da companhia transporta moradores de e para a cidade numa distância de 20km, quando a situação o permitir.

A população circunvizinha da fábrica apesar dos impactos adversos da actividade decorrente do funcionamento da fábrica, tem a oportunidade de obter um emprego e o acesso a novos serviços como o caso concreto que foi a instalação dum posto de saúde na área que beneficia não só os trabalhadores da empresa mas também a toda a população ali residente. Foi

igualmente instalado um fontenário que abastece água gratuitamente a população local. A fábrica construiu igualmente uma escola e ofereceu a comunidade para os seus filhos frequentarem nela entre várias outras actividades que a fábrica desenvolve em prol do desenvolvimento local. Como resultado de muitas realizações que a empresa exerce sobre a comunidade, a qualidade da força de trabalho local e do seu padrão de vida aumentou, assim como a maior estabilidade social causada pela maior prosperidade económica.

Os responsáveis pelo empreendimento também exercem uma grande responsabilidade social, empregam grande número de pessoas, e fornecem casas e serviços locais, o que ajuda a desenvolver pequenos negócios locais.

5.3. Política Ambiental da empresa

É de salientar que apesar de todos os riscos operacionais não serem possíveis de sua eliminação a empresa labora com base no Sistema de Gestão de Qualidade, NP ISO 14001 com um certificado de conformidade cuja sua política ambiental esta baseada no seguinte:

- ✚ Cumprir todas as disposições legais aplicáveis em termos de meio ambiente;
- ✚ Avaliar e minimizar as emissões atmosféricas, resíduos e riscos;
- ✚ Melhorar de forma contínua a utilização de recursos naturais;
- ✚ Implementar o SGA em conformidade ISO³ 14001 e obter o registo no EMAS⁴;
- ✚ Divulgar o seu desempenho ambiental e aplicar os princípios da prevenção tendo em conta as melhores técnicas disponíveis.

³ Organização internacional de normalização

⁴ Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria

CAPITULO VI

6. O calcário

6.1. Origem e características

Segundo Cílek (1989), calcário é uma rocha sedimentar contento o mineral calcite como seu componente principal, cuja fórmula química teórica é carbonato de cálcio (CaCO_3). O Calcário é uma rocha predominantemente formada por carbonato de cálcio, sendo que ele pode aparecer na forma de calcite ou aragonite. A aragonite (CaCO_3) possui a mesma composição química da calcite (CaCO_3), entretanto, difere na estrutura cristalina.

Os calcários são rochas sedimentares carbonatadas que se formaram em diversas eras geológicas, podendo ser sedimentares recentes ou podendo ter sofrido transformações diagenéticas ou metamórficas (Braganca, 1996, Santana, 2002). Além disso, é uma das mais importantes e abundantes rochas sedimentares de emprego comercial existentes na crosta terrestre (ibid.,pág.17).

O processo de sedimentação das camadas calcárias resulta de processos químicos e/ou bioquímicos e tem origem na acumulação de organismos inferiores principalmente em ambientes marinhos e na precipitação de carbonato de cálcio e magnésio dissolvido nas águas dos rios, lagos, mares, e fontes de águas mineralizadas.

6.2. Composição dos calcários

Segundo Santana: 2002, o termo calcário é utilizado para designar qualquer rocha que contenha mais de 50% de carbonato de cálcio, ou de cálcio e magnésio, na sua composição e esses podem ser classificados de acordo com o teor de MgO na rocha conforme a tabela 03.

Tabela 5. Classificação do calcário conforme o teor de magnésio

Classificação	Teor de magnésio (MgO) %
Calcário calcítico	<4
Calcário magnesiano	4<MgO <18
Calcário dolomítico	MgO> 18

Fonte: Sales: 2002

De acordo com SALES (S/D) no teor de magnésio o calcário se classifica em:

- ✚ Calcário calcítico (CaCO_3), o teor de óxido de magnésio (MgO) varia de 0 a 4%. Devido a maior quantidade de cálcio a pedra quebra com maior facilidade e em superfícies uniformes e planas. Este calcário também pode ter menor quantidade de carbonato de magnésio, exige maior temperatura para descarbonização.
- ✚ Calcário magnesiano (MgCO_3), o teor de magnésio varia de 4 a 18%. A presença de carbonato de magnésio faz com que este calcário tenha características bem diferentes do calcítico. O calcário magnesiano é uma pedra mais dura quebrando de forma irregular, formando conchas de onde o nome de pedra cascuda. Este necessita de temperaturas menores para descarbonatar do que o calcítico. É ideal para o fabrico de cal (Sales, S/D).

O uso de calcário com alto teor de MgO causa desvantagens na hidratação do cimento- $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$, provocando o aumento de volume. (Sales, S/D).

- ✚ Calcário dolomítico, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, o teor de MgO é acima de 18% e por isso possui uma temperatura de descarbonização ainda menor do que o calcário magnesiano.

Os principais constituintes do calcário são a calcite e a dolomite, CaCO_3 e $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$, respectivamente, ambas com estrutura romboédrica, e a aragonite (CaCO_3) de estrutura ortorrombica.

A aragonite é um mineral meta estável, cuja alteração resulta na calcite, a forma mais estável. Outros minerais carbonatados, notadamente, siderite (FeCO_3), ankerite ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$) e a magnesite (MgCO_3), estão comumente associados ao calcário e à dolomite, contudo em menor quantidade. Na crosta terrestre praticamente inexistem calcários compostos unicamente por carbonato de cálcio, uma vez que, com frequência, há substituição do cálcio por outros cátions (Holanda et al. 1987).

No entanto, na prática, a calcite apresenta uma estrutura cristalina e composição química ligeiramente diferente da teórica, uma vez que o cálcio é substituído em soluções sólidas por catiões de ferro, zinco, manganês, estrôncio e, principalmente, magnésio. Em relação ao cristal ideal de calcite (CaCO_3), cada uma destas diferenças influenciam nas propriedades do calcário e sua composição.

Ainda de acordo com Klein (2002), na natureza são encontrados mais de 200 espécies diferentes de minerais portadores de carbonatos, entre os quais destacam-se a siderite, aragonite, azurite, rodocrosite, malaquite, cerussita, estrocionite. Todavia, os minerais carbonatados mais comumente presentes nas argilas são: calcite (CaCO_3), dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ e magnesite (MgCO_3).

6.3. Classificação dos calcários

O calcário é uma rocha sedimentar, sendo a 3ª rocha mais abundante na crosta terrestre e somente o xisto e o arenito são mais encontrados. O elemento cálcio abrange 40% de todo calcário, é o 5º mais abundante após o oxigênio, silício, alumínio e o ferro. No calcário sedimentar do tipo fossilífero, é comum a presença de minerais tais como: calcite, quartzo, micas e argilo-minerais (Holanda et al. 1987).

O carbonato de cálcio cuja fórmula química é CaCO_3 é o carbonato mais exhaustivamente estudado devido sua importância física, química, biológica e, sobretudo, devido suas aplicações industriais.

Em termos genéticos, em Moçambique o calcário ocorre em bacias sedimentares meso-cenozóicas (Lächelt, 2004):

- Salamanga, Sábiè e Magude, na província de Maputo;
- Mapulanguene e Massingir, na província de Gaza;
- Inharrime, Morrumbene-Homoíne, Jofane e Vilankulo, na província de Inhambane;
- Rio Save, nas províncias de Inhambane, Sofala e Manica;
- Búzi e Cheringoma, na província de Sofala;
- Nacala, na província de Nampula, (local do presente estudo);
- Pemba e Mocímboa da Praia, na província de Cabo Delgado.

6.4. Impurezas contidas no calcário

Os calcários são constituídos basicamente de carbonatos de cálcio (CaCO_3) e dependente da sua origem geológica pode conter várias impurezas como magnésio, silício, alumínio ou ferro, ou seja, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, óxidos e outros, além de matéria orgânica. O carbonato de cálcio é conhecido desde épocas muito remotas, sob a forma de minerais tais como a greda, o calcário e o mármore (Sales, S/D).

As impurezas dos calcários variam em tipo e quantidade, ocorrem a estágios posteriores a deposição (Luz e Lins, 2005). Em menor proporção encontram-se os carbonetos como a Siderite (FeCO_3) a ankerite, $\text{Ca}_2\text{FeMg}(\text{CO}_3)_4$ e a Magnesite (MgCO_3) de estrutura romboédrica (Santana, 2005).

Os compostos de ferro estão em geral na forma de Limonite (hidróxido férrico) e pirite, podendo-se encontrar hematite, marcasite e outras formas de ferro (Luz e Lins, 2005).

As impurezas de silício também podem ocorrer no calcário na forma de óxidos. A sílica que ocorre como areia, fragmentos de quartzo e em estado combinado como feldspato, mica, talco e Serpentinite produz efeitos nocivos ao calcário principalmente para aplicação em metalurgia (Luz e Luís, 2005).

Os compostos de sódio e potássio são encontrados nos calcários mas em baixas proporções e quando presentes em grandes proporções podem ser eliminados durante a calcinação. A impureza mais comum nas rochas carbonatadas em todo o mundo é a argila. Os argilo-minerais, principalmente a caulinite, illite, clorite. Para as amostras usadas no presente trabalho notou-se como as principais impurezas o magnésio, potássio, quartzo e os sulfatos apesar de teores muito baixos que não afectaram a qualidade do cimento produzido.

6.6. Análises laboratoriais das amostras do calcário

6.6.1. Colheitas das amostras

As amostras foram colhidas pelo autor do trabalho numa saída a pedreira com o técnico do laboratório de Cimentos de Nacala no mês de Setembro do ano de 2013 na pedreira de Relamzapo, distrito de Nacala, província de Nampula, no território moçambicano, e foram conservadas em sacos plásticos. As duas amostras de calcários usados no presente trabalho foram recolhidas a distância de 50 metros uma da outra. Nota-se também que há muita homogeneidade nos calcários que afloram naquela região por isso não houve muita necessidade de mais amostras. Deve-se salientar que após o processo de extracção do calcário

é submetido ao processo de beneficição pela empresa de cimento de Nacala permitindo obter o cimento como produto final.

Tendo em consideração os objectivos do trabalho a realizar, as amostras foram submetidas a análises químicas e mineralógicas, de forma a realizar-se uma caracterização dos seus principais constituintes.

Figura 14. Amostra de calcário de Nacala



Fonte: Captada pelo autor, Setembro 2013

O calcário acima ilustrado na figura 13 é de origem marinha, com conchas, búzios e corais, é possível reconhecer as partes duras dos antigos seres vivos. Tem boa composição carbonatada, que nos próximos capítulos poderá se confirmar. Macroscopicamente esta rocha tem cor branca com bioclastos de recifes de corais bem visíveis, de granulação grossa a média, arredondados. Portanto, trata-se de um calcário calcítico⁵ como mostra a foto.

Os principais produtores de substâncias calcárias são, entre outros, as estruturas de sustentação das algas calcárias, dos corais, dos foraminíferos, dos branquópodes, dos quinodermes, dos moluscos e dos crustáceos, que se reúnem no fundo do mar (Schumann, 2001pág.114).

⁵ Dado confirmado através da análise química

6.6.2. Preparação das amostras no laboratório

As amostras do calcário foram secas em estufa a 30°C. Após secagem, foi feita a homogeneização e quarteamento. Pesou-se 12 a 13 gramas das amostras de calcário 1 e 2 respectivamente.

Uma porção da rocha total destinou-se a desagregação e moagem em moinho de argolas de num período de 15 minutos com uma granulometria inferior a 90µm para um balão plástico. Foram separadas diversas tomas das amostras, destinadas aos diferentes ensaios a realizar, tendo sido a restante guardada como testemunho.

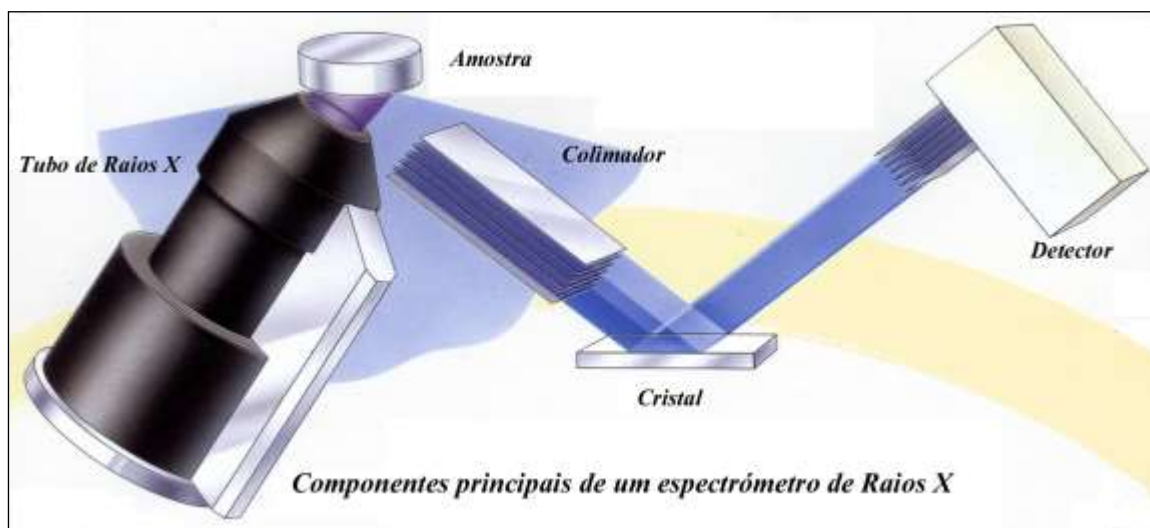
Após moagem, e homogeneização, levou-se para o estudo da composição mineralógica por difracção de raios X (DRX) e para as análises químicas por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) que se explica no ponto a seguir.

6.6.3. Análise química - procedimentos

Um dos métodos utilizados para a análise química das amostras de calcário em estudo neste trabalho, foi a Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX), uma técnica que permite a análise de elementos químicos maiores que possuam o número atômico $Z > 9$, no caso do equipamento existente no departamento de Geociências, em concentrações compreendidas entre 100 % e poucos ppm (Gomes, 1988).

A base teórica da FRX é o denominado efeito da absorção fotoelétrica, traduzido no seguinte modo: todos os elementos químicos presentes num espécime, são excitados por um feixe policromático de raios x primários com determinadas energias, emitindo radiações secundárias ou de fluorescência. Estas radiações são dispersas por cristais analisadores ou dispersores de modo que as radiações secundárias dos elementos possam ser resolvidas e depois captadas por detectores dos tipos proporcionais e cintilações (Gomes, 1988). Por fim, é necessário estabelecer a correlação das intensidades medidas com os teores dos elementos químicos presentes (Andrade, 2001).

Figura 15. Esquema de um espectrómetro de Raios X



Fonte: Laboratório de Geociências UA

O equipamento utilizado na execução dos discos fundidos foi *Philips Automatic Bead Machine "Perl'X3"*, que é um aparelho que possui uma fornalha controlada por um microprocessador.

As amostras são fundidas com um fundente num cadinho e depois vertidas para um molde. O aquecimento é fornecido por um gerador de baixa frequência. Durante o ciclo de produção da pastilha o cadinho e o molde são encerrados pela cobertura, operada pneumaticamente, da fornalha de maneira a proteger o operador de acidentes térmicos e/ou eléctricos.

Figura 16. Philips Automatic Bead Machine e figura a direita, Pormenor da fornalha e “Perl X3” respectivo amostrador



Fonte: Departamento de Geociências da UA

6.6.4. Execução de uma pastilha prensada – Procedimento

- a). Secar a amostra em estufa a $110 \pm 1^\circ\text{C}$, previamente moída em almofariz de porcelana e moinho com contentor de ágata;
- b). Retirar a amostra da estufa passadas 12 h e deixar arrefecer num exsicador (opcional);
- c). Pesar cerca de 10,0 g de pó seco para um recipiente de plástico e adicionar 4 a 5 gotas de Miviol a 2% (álcool aglutinante), seguido de boa homogeneização, com uma vareta de vidro;
- d). Colocar o pó num molde standardizado e prensá-lo numa prensa até 15 t de força, durante 30 s;
- e). Retirar gradualmente a pressão e deixar a pastilha secar;
- f). Colocar uma etiqueta com a referência da amostra, numa das faces da pastilha;
- g). Colocar a pastilha no porta-amostras do aparelho da FRX de modo que a face a ser analisada não seja a que contém a identificação da amostra.

6.6.5. Análise mineralógica-Procedimentos

Para a caracterização dos minerais presentes nas amostras de calcário de 01 e 02 estudados no presente trabalho recorreu-se a difracção de raios X (DRX) com difractómetro de RX. As análises foram realizadas no laboratório de Geociências da Universidade de Aveiro. A identificação dos minerais foi feita tendo por base os picos de difracção referenciados em diferentes bibliografias existente para este efeito (Thorez 1976; Brindley e Brown 1980; Moore e Reynolds 1997), bem como os respectivos picos diagnose e o poder reflector.

Para interpretação dos difratogramas usou um Software chamado “X-ray Powder Diffraction (XRD) ” que é uma técnica analítica rápida utilizada principalmente para a identificação da

fase de um material cristalino e pode fornecer informações sobre as dimensões da célula unitária. O material analisado foi finamente moído e homogeneizado. Os resultados são geralmente apresentados como as posições dos picos em 2θ e contagem dos raios-X (intensidade), sob a forma de uma tabela ou um trama xy. [3]⁶

X-RAY POWDER DIFFRACTION é um Software amplamente usado para a identificação de materiais desconhecidos cristalinos (por exemplo, sais minerais, compostos inorgânicos). Determinação de sólidos desconhecidos é fundamental para estudos de geologia, ciências ambientais, ciência dos materiais, engenharia e biologia.

Outras aplicações incluem:

- i. Caracterização de materiais cristalinos;
- ii. Identificação dos minerais de grão fino, tais como argilas e argilas de estratos mistos, que são difíceis de determinar opticamente;
- iii. Medição da pureza da amostra;
- iv. Determinar de valores modais de minerais (análise quantitativa).

[⁶] <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/index.htm>

CAPITULO VII

7. Resultados e discussão dos dados ensaiados

Nesta parte do capítulo são apresentados os resultados obtidos nos diversos ensaios realizados durante a fase experimental. As análises e discussões foram realizadas e comparadas com base na revisão bibliográfica desta pesquisa.

7. 1. Análise e interpretação de dados dos ensaios químicos

Os ensaios químicos são particularmente importantes para a avaliação da matéria-prima e foram efectuados no laboratório de Geociências da Universidade de Aveiro onde foi possível identificar nas duas amostras estudadas os teores dos seguintes compostos e ou elementos: Dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), anidrido sulfúrico (SO_3), óxido de potássio (K_2O), anidrido fosfórico (P_2O_5), cloro (Cl), estrôncio (Sr) e, LOI ou PF, Com vista a analisar se o seu comportamento geoquímico responde as exigências definidas para a produção de cimento.

Assim os dados da análise química mostraram os resultados que constam na tabela 08 que a seguir se apresentam;

Tabela 6. Análise química

AMOSTRA 1 (%)		AMOSTRA 2 (%)	
LOI	44.250	LOI	43.980
Na ₂ O	0.199	Na ₂ O	0.243
MgO	0.838	MgO	1.079
Al ₂ O ₃	0.171	Al ₂ O ₃	0.092
SiO ₂	0.404	SiO ₂	0.325
P ₂ O ₅	0.087	P ₂ O ₅	0.088
SO ₃	0.285	SO ₃	0.310
Cl	0.052	Cl	0.060
K ₂ O	0.009	CaO	53.081
CaO	52.915	Fe ₂ O ₃	0.023
Fe ₂ O ₃	0.027	Sr	0.716
Sr	0.765	K ₂ O	n.d
TOTAL	100		99,99

n.d = não detectado

Fonte: Laboratório de Geociências

De acordo com os resultados da análise química conforme os dados apresentados na tabela 6 acima, os óxidos de cálcio possuem teores mais elevados nas duas amostras de calcários estudados, confirmando assim que o calcário é muito rico em carbonato de cálcio. A seguir passa-se a analisar quantitativamente de forma individualizada o teor de cada elemento na amostra.

7. 1.1. Teor em óxido de cálcio (CaO)

Os teores em cao nas duas amostras analisadas, variam entre 52.915 % e 53.081 % nas amostras de calcário 1 e 2 respectivamente. Segundo Cilek (1989), propõe que o teor em CaO o calcário para a produção do cimento não deve ser inferior a 44.8%. observando os resultados da amostra em estudo vê-se que os teores obtidos no presente trabalho são superiores ao valor proposto pelo autor que vem sendo citado, o que pode se afirmar que estão dentro dos parâmetros estabelecidos.

7. 1.2. Teor em óxido de magnésio (MgO)

Cilek (1989) especifica um teor máximo de 3.3% de mgo. As amostras analisadas têm teores de magnésio a variar de 0.838 e 1.079 nos calcários 1 e 2 respectivamente. Com isto pode se dizer que elas apresentam teores em magnésio dentro do intervalo aceitável. No processo de fabrico de cimento, o magnésio entra como impureza juntamente com a matéria-prima, por isso deve-se fazer presente nos calcários em teores muito baixos. Segundo Coutinho (2006), a

presença de MgO sob a forma cristalina, em quantidades acima de 2% provoca a reactividade do cimento.

Ainda segundo o mesmo autor acima citado, o MgO cristalino (periclase) presente no cimento tende a hidratar após colocação em obra, o que leva à expansão excessiva e propicia a ocorrência de fendas no betão.

7. 1.3. Teor em óxido de ferro (Fe_2O_3)

Os resultados obtidos nas duas amostras em estudo os teores em óxido de ferro (Fe_2O_3) variam entre 0.027 a 0.023, amostra 1 e 2 respectivamente. A amostra 02 apresenta teores em Fe_2O_3 relativamente baixos em comparação com a de 01. Os teores reportados pelo autor já citado acima, variam de 0 a 8.0% e as amostras analisadas apresentam teores em Fe_2O_3 num nível aceitável.

O ferro participa no fabrico do cimento, embora em teores baixos na matéria-prima; ele é adicionado sob a forma de magnetite, juntamente com outros minérios no processo de clinkerização. É o principal responsável pela cor do cimento, quanto menor for a sua concentração, menor será a tonalidade da cor do cimento (Coutinho, 2006).

7. 1.4. Teor em óxido de potássio (K_2O)

O teor em óxido de potássio (K_2O) na amostra 01 é de 0.009 e na amostra 02 é inexistente. O teor obtido concorda com o proposto por Cilek (1989). Segundo este autor, a soma dos óxidos de Na e K não deve superar 0.5%).

Alcalis (K_2O e Na_2O) acompanham as matérias-primas. Um excesso de alcalis aumenta a fase líquida que acarreta no perigo de formação de anéis de alcalis, matérias que se cristalizam no interior dos fornos. Teores elevados de alcalis prejudicam a regulação do tempo de pega. O potássio juntamente com outros alcalis é considerado como impurezas no processo de fabrico do cimento, o que significa que devem estar presentes nos calcários em teores mais baixos possíveis. Juntamente com outros constituintes voláteis, tais como o cloro e o enxofre, podem formar sulfatos e cloretos alcalinos. Estes originam agarramentos nos fornos e pré-aquecedores.

Assim baseando se nas amostras em estudo a soma de K_2O e Na_2O na amostra 1 é igual a 0,21% e na amostra 2 a soma é de 0,24%, podendo se confirmar mediante os resultados laboratoriais que esses dados estão dentro dos parâmetros estabelecidos.

7. 1.5. Teor em óxido de silício (SiO₂)

As duas amostras 1 e 2 apresentam valores de óxido de silício (SiO₂) variando entre 0.404 % e 0.325% respectivamente. Segundo Cilek (1989) propõe que os teores em argilas e quartzos não devem superar a 3%. Com base nos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais mostram que cumprem os parâmetros pré estabelecidos para a produção de cimento.

O silício entra na composição do cimento de várias formas, destacando-se as seguintes: como impureza dos calcários que são utilizados como matéria-prima e como quartzito, que é introduzido no processo de clinquerização, permitindo que se obtenham cimentos de características pré-determinadas. Portanto, os resultados obtidos das análises apresentam teores de sílica aceitáveis uma vez que Cilek (1989) não apresenta exactamente a especificação para a SiO₂.

7. 1.6. Teor em trióxido de enxofre (SO₃)

Os teores em trióxido de enxofre (SO₃) nas amostras analisadas 01 e 02 são baixos e estão dentro das especificações, variando de 0.285 e 0.310 % respectivamente. Os teores em SO₃ aqui apresentados não constituem um obstáculo para o uso desta matéria-prima no fabrico do cimento. Os sulfatos constituem impurezas dos calcários, por isso, eles devem estar em teores baixos. O SO₃ está normalmente associado a recursos gessíferos, ou com materiais contendo sulfuretos, na forma SO₂ é um poluente atmosférico.

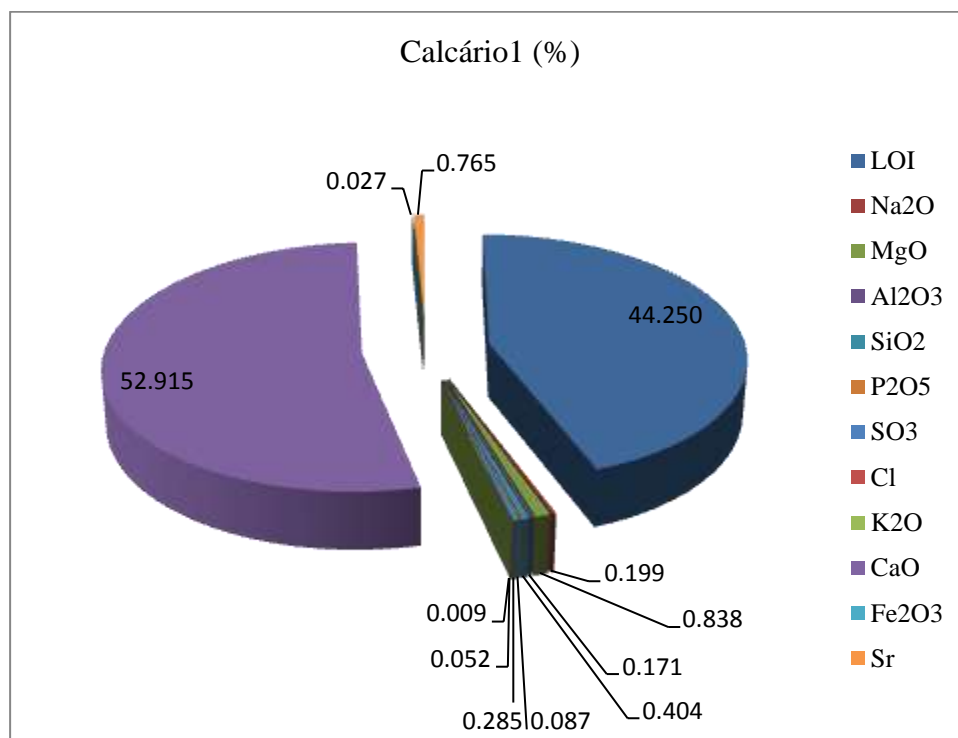
7. 1.7. Teor em Anidrido fosfórico (P₂O₅)

Nas amostras estudadas no presente trabalho o teor de Anidrido fosfórico (P₂O₅) varia de 0,087 e 0,088 nas amostras de calcario1 e 2 respectivamente. O Anidrido fosfórico encontra-se, essencialmente, nos carbonatos. Segundo o autor acima citado, teores acima de 1% no cimento conduzem a um conjunto de reacções que promovem uma redução nas resistências, afectando também o tempo de presa. Assim a presença de composto nas amostras estudadas cumprem com o pré estabelecido pelo autor.

O calcário para fins de matéria-prima aditiva para a produção de cimento deve ter teor elevado de carbonato de cálcio (CaCO₃), baixos teores de sílica, óxidos de ferro e alumínio, em particular, baixos teores de MgCO₃ que é muito comum nos calcários (Ambrósio, 1974 citado por Sampaio e Almeida, 2005). Os resultados obtidos revelam que os calcários analisados são de boa qualidade para a produção do cimento.

Como se pode notar e segundo Holanda et al, 1987, na crosta terrestre praticamente não existe calcários compostos unicamente por carbonato de cálcio, uma vez que há substituição por outros. Portanto, é muito difícil encontrar um calcário que reúna todos as características exigidas para a fabricação do cimento. Os gráficos abaixo mostram os minerais constituintes de cada amostra.

Gráfico 1. Composição química da amostra1



Fonte: Autor, elaborado a partir da análise química

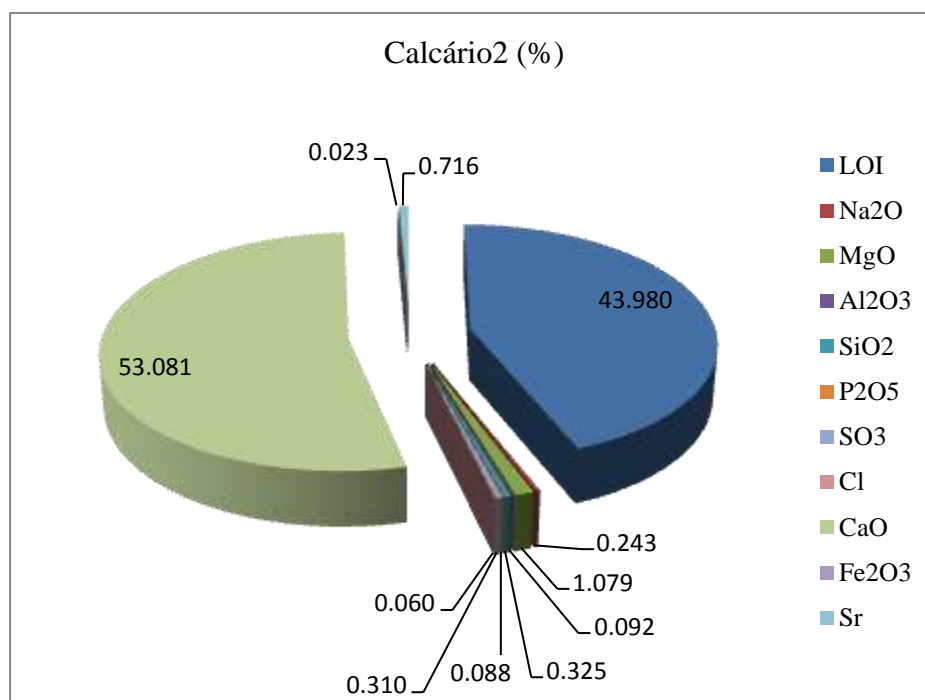
Segundo o gráfico1 acima, correspondente a amostra de calcario1 resultando dos dados laboratoriais, nota-se que a maior percentagem dos minerais identificados vai para o óxido de cálcio (CaO) 52,9% e LOI ou (PF) ou simplesmente Perda ao Rubro (PR) que é de 44,3%.

Segundo (Gomes, 1988), a Perda ao Rubro ou Perda de Peso por Ignição é expressa em percentagem, considerando o peso perdido pela amostra depois do teste (ensaio térmico), comparando o peso da amostra calcinada com o da amostra previamente seca. A perda por ignição deve-se à perda de água por desidratação ou desidroxilação, à combustão de matéria orgânica ou à evolução de outros voláteis.

Portanto, exprime a perda de massa do calcário após o aquecimento em mufla a 1000°C e a maior desta perda ocorre devido ao dióxido de carbono (CO₂) que está contida no filler do calcário servindo de parâmetro para se estimar o teor desta adição. Entretanto, parte desta

perda ao fogo é também a água evaporada presente no calcário (Petrucci, 2005). Outros elementos contidos na referida amostra, nomeadamente os óxidos de alumínio, sódio, magnésio, silício, fósforo, enxofre, cloro, ferro, estrôncio, têm uma percentagem abaixo de 1% o que revela ser um calcário sem muitas impurezas.

Gráfico 2. Composição química da amostra2



Fonte: Autor, elaborado a partir da análise química

O gráfico2 acima mostra a composição química da amostra2. A semelhança com a amostra1, esta apresenta igualmente um valor elevado de óxido de cálcio (53%) um pouco acima da primeira amostra, o valor da perda ao rubro descrita acima, esta corresponde numa média de 44%. O valor de óxido de magnésio atinge a unidade o que não acontece na amostra1 que o seu valor é inferior a este. A amostra2 não possui óxido de potássio, os outros elementos presentes na amostra possuem uma percentagem abaixo de 1%. Pode concluir que a amostra 2 é mais pura em relação a primeira.

Fazendo uma comparação com os dados das amostras de calcário 1 e 2 usadas na presente dissertação ensaiados no laboratório de Geociência da universidade de Aveiro em Outubro de 2013, obtemos a seguinte média composicional: LOI ou PF igual a 44%; dióxido de silício (SiO_2) igual 0,36; óxido de alumínio igual a 0,13; óxido de ferro (Fe_2O_3) igual a 0,025; óxido de cálcio (CaO) igual a 53%; óxido de magnésio (MgO) igual a 0,96% e e anidrido sulfúrico (SO_3) igual a 0,3%.

7.2. Dados de análise comparativa entre os calcários ensaiados na empresa de cimento de Moçambique e na UA.

A tabela abaixo ilustra em termos comparativos os calcários ensaiados no laboratório de análises químicas da empresa de cimentos de Moçambique – Cimpor, em Nacala no tocante aos anos 2000, 2008, 2010, 2011, 2012 e 2013 usado na fabricação de cimento naquele ponto do país.

Tabela 7. Calcários analisados na empresa de cimentos de Moçambique

Elemento/composto	Ano /Resultado (%)						
	2000	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Humidade	-	4,99	6,10	-	-	5,8	6,01
LOI	43,76	44,03	43,55	42,14	42,99	43,44	43,21
SiO ₂	0,72	1,40	0,26	0,86	0,67	1,06	0,30
Al ₂ O ₃	1,78	0,51	0,76	0,57	0,79	0,34	0,38
Fe ₂ O ₃	0,23	0,33	0,16	0,67	0,49	0,24	0,43
CaO	52,64	55,16	54,32	55,08	53,03	53,50	54,03
MgO	0,80	0,60	0,60	0,22	0,75	0,24	0,46
SO ₃	-	0,21	0,08	0,28	0,45	0,23	0,22
Cloretos	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
Total	99,93	102,24	99,74	99,82	99,77	99,04	99,03

Fonte: Autor, a partir dos dados químicos da empresa

Fazendo uma apreciação global dos dados das amostras apresentadas na tabela 09 acima, nota-se que nos anos analisados, ou seja, 2000, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013 a matéria-prima, o calcário, tem na sua composição química em média de cada elemento/composto a seguinte: a perda fogo (PF ou LOI) igual a 43,3%, dióxido de silício (SiO₂) igual 0,75%; óxido de alumínio (Al₂O₃) igual a 0,73%; óxido de ferro (Fe₂O₃) igual a 0,36%; óxido de cálcio (CaO) igual a 54%; óxido de magnésio (MgO) igual a 0,52%; e anidrido sulfúrico (SO₃) igual a 0,2%. Os outros elementos como anidrido fosfórico (P₂O₅), óxido de potássio e óxido de sódio (Na₂O) não foram determinados os seus teores químicos na empresa de cimentos de Moçambique. A tabela 08 que a seguir se apresenta, consta a médias dos elementos químicos ensaiados na empresa de cimentos de Moçambique e as amostras usadas no presente trabalho efectuados no departamento de geociência da UA.

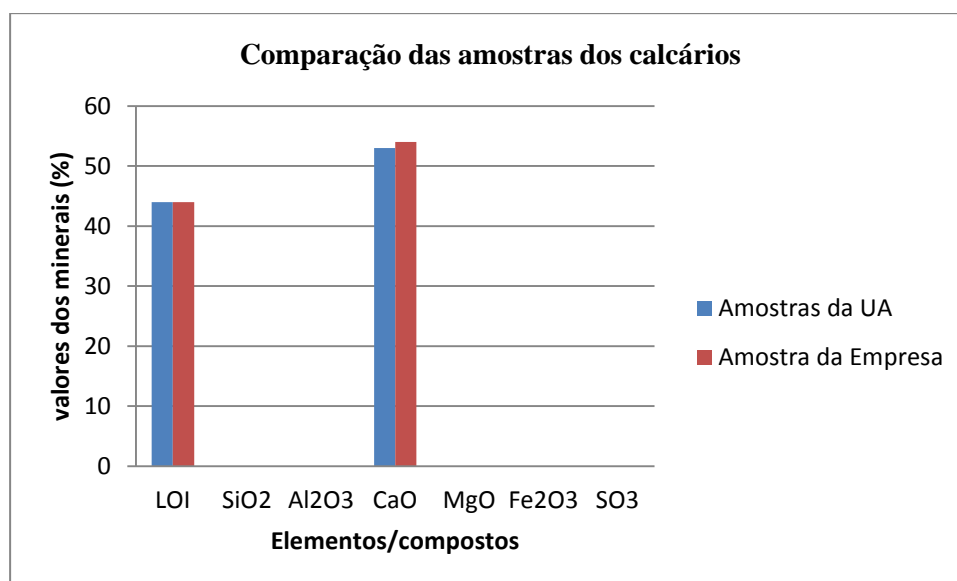
Tabela 8. Comparação entre os calcários analisados em Moçambique e na UA

Médias dos resultados (%)		
Elemento/ Compostos	Calcários 1 e 2 ensaiadas na UA	Calcários ensaiados em Moçambique
LOI	44	44
SiO ₂	0,36	0,75
Al ₂ O ₃	0,13	0,73
CaO	53	54
MgO	0,96	0,52
Fe ₂ O ₃	0,025	0,36
SO ₃	0,3	0,2

Fonte: Autor, a partir dos dados químicos da UA e de Moçambique

O gráfico abaixo mostra a proporção em média dos elementos químicos ensaiados na empresa de cimentos de Moçambique e as amostras usadas no presente trabalho efectuados no departamento de geociência da UA.

Gráfico 3. Comparação entre os calcários analisados em Moçambique e na UA



Fonte: Autor, a partir dos dados químicos da UA e de Moçambique

Observando atentamente as duas composições das amostras que constam nas tabelas 07 e 08 e seguidamente no gráfico 3 que constituem os calcários usados para a produção do cimento analisados nos laboratórios do Departamento de Geociência da UA e no laboratório da empresa de cimentos de Moçambique em Nacala, pode-se tirar a conclusão de que os

calcários analisados não têm muitas variações em termos composicionais. As pequenas diferenças em termos de teores químicos não constituem nenhum constrangimento na qualidade do cimento. A aconselha-se a empresa a usar os dois tipos de calcários analisados nos dois laboratórios (UA e empresa de cimentos de Nacala - Moçambique), pois eles reúnem boas qualidades para a produção de cimento, de acordo com as especificações avançadas pelos autores citados ao longo do trabalho.

7.3. Análise de Índice de hidraulicidade e cimentação

Segundo Santiago (2007), o índice de hidraulicidade é determinado através da correlação entre os percentuais de determinados óxidos presentes nas argamassas. Para o presente estudo fez-se a análise de óxidos presentes nas amostras de calcário 1 e 2.

Quanto à determinação do índice de hidraulicidade, a bibliografia brasileira actual apresenta uma pequena divergência na sua fórmula: alguns autores consideram apenas a relação entre os percentuais de sílica, alumina e óxido de ferro e o percentual de óxido de cálcio; enquanto outros também incluem na fórmula os percentuais de óxido de magnésio presentes na amostra. As duas fórmulas mencionadas para cálculo do índice de hidraulicidade (i) são, pois:

Conforme o engenheiro brasileiro Eládio Petrucci (séc. XX):

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3}{\%CaO}$$

Conforme o também engenheiro brasileiro José Epitácio Guimarães:

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3}{\%CaO + \%MgO}$$

Julga-se mais conveniente a 1ª possibilidade, pois o calcário utilizado como amostra no presente estudo é calcítico, tem teor de magnésio abaixo de 4%.

Assim sendo, tal fórmula é que foi adoptada para os cálculos dos índices dos materiais ensaiados.

Com relação à classificação das cais conforme o seu índice de hidraulicidade, encontrou-se, igualmente, sutis diferenças entre os dois autores. A indicação de cada um deles é apresentada a seguir:

- Para Guimarães (1997), as cais podem ser classificadas em:

- ✚ Fracamente hidráulica: $0,10 < i < 0,16$;
- ✚ Moderadamente hidráulica: $0,16 < i < 0,40$;
- ✚ Eminentemente hidráulica: $0,40 < i < 0,50$.

• Petrucci (1987), ao invés de considerar a existência da categoria das moderadamente hidráulicas mencionada por Guimarães, distribuiu os valores desta faixa nos seguintes grupos:

- ✚ Medianamente hidráulicas ($0,16 < i < 0,30$);
- ✚ Francamente hidráulicas ($0,30 < i < 0,40$), mantendo os mesmos valores nos casos de cais fracamente hidráulica e eminentemente hidráulica.

• Branco (1981), autor português do século XX, ratificou as indicações, que são um pouco diversas das duas anteriormente citadas:

- ✚ Gorda ou magra: $0,0 < i < 0,10$;
- ✚ Debilmente hidráulica: $0,10 < i < 0,16$;
- ✚ Medianamente hidráulica: $0,16 < i < 0,31$;
- ✚ Hidráulica padrão: $0,31 < i < 0,42$;
- ✚ Eminentemente hidráulica: $0,42 < i < 0,50$.

Para aferir o grau de hidraulicidade, existe ainda outro índice, o índice de cimentação (IC), também calculado com base nos percentuais presentes dos mesmos óxidos. Só que são usados alguns factores de correcção, conforme pode ser constatado através da análise da fórmula:

$$IC = \frac{2,8 \%SiO_2 + 0,7 \%Fe_2O_3 + 1,1 \%Al_2O_3}{\%CaO + 1,4 \%MgO}$$

De acordo com este índice, podem ser classificadas nas mesmas categorias previstas anteriormente:

- ✚ Fracamente hidráulica: $0,30 < i < 0,50$;
- ✚ Moderadamente hidráulica: $0,50 < i < 0,70$;
- ✚ Eminentemente hidráulica: $0,70 < i < 1,10$.

Assim a seguir procede se o cálculo do índice de hidraulicidade da amostra de calcario1:

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3}{\%CaO} \rightarrow I = \frac{0,404+0,027+0,171}{52,915} = 0,43\% \text{ (Amostr1)}$$

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3}{\%CaO} \rightarrow I = \frac{0,325+0,023+0,0192}{53,081} = 0,35\% \text{ (AMOSTRA2)}$$

Segundo Branco (1981), autor português do século XX, a amostra de calcario1 é eminentemente hidráulica ($0,42 < i < 0,50$), pois o índice igual a 0,43%. E amostra de calcario2 é hidráulica padrão ($0,31 < i < 0,42$), pois o seu índice é igual a 0,35%.

Passa se a seguir o cálculo do índice de cimentação.

$$IC = \frac{2,8 \%SiO_2 + 0,7 \%Fe_2O_3 + 1,1 \%Al_2O_3}{\%CaO + 1,4 \%MgO} \text{ (Amostr1)}$$

$$IC = \frac{2,8*0,404 + 0,7*0,027 + 1,1*0,171}{52,915 + 1,4 *0,838}$$

$$IC = 0,0247 = 2,47\% \text{ (amostra1)}$$

Cálculo do índice de cimentação da amostra2

$$IC = \frac{2,8 \%SiO_2 + 0,7 \%Fe_2O_3 + 1,1 \%Al_2O_3}{\%CaO + 1,4 \%MgO} \text{ (Amostra2)}$$

$$IC = \frac{2,8 *0,325 + 0,7*0,023 + 1,1*0,092}{53,081 + 1,4 *1,079}$$

$$IC = 0,0188 = 1,88\%$$

De acordo com este índice, e as categorias previstas anteriormente as duas amostras de calcário analisados são eminentemente hidráulica, os seus valores oscilam de 2,47% e 1,88% calcário 1 e 2 respectivamente.

7. 4. Os grupos de minerais identificados na análise de DRX

Os principais compostos minerais identificados na difracção de raios-x foram aragonite com maior abundância (CaCO_3), calcita (CaCO_3), dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ e como constituintes menores; quartzo (SiO_2) feldspato potássico, $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ e os filossilicatos (argilas).

7. 4.1. Breve caracterização dos minerais identificados

Aragonite (CaCO_3), cristal (sistema rômboico) é um mineral de cor branca, cinzenta, amarelada, avermelhada, castanha e também incolor, traço branco, dureza 3,5 a 4, densidade 2,95, brilho vítreo a gorduroso transparente a translúcido. Clivagem imperfeita; fractura conchoide quebradiça. É constituído de alguns moluscos (entre outros, bivalves e caracóis) e das pérolas (Schumann, 2001,pág.48).

Calcite (CaCO_3), cristal (sistema trigonal) quase sempre saliente, predominantemente romboedros, escalenoedros e prismas estalactíticos, com muitas combinações, frequentemente geminados, é um mineral de cor branca, cinzenta, amarela, incolor; por acção de substâncias estranhas é possível apresentar todas as outras cores. Traço branco; dureza 3; densidade 2,6 a 2,8; brilho vítreo; transparente a opaco, clivagem muito perfeita, fractura conchoide quebradiça. É o principal componente das rochas calcárias (ibid.,, pág.46).

Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, cristal trigonal incrustados e salientes, muitas vezes curvos, preferencialmente com formas romboédricas. Cor cinzento-esbranquiçada, amarela, castanha, avermelhada, raramente incolor; traço branco; dureza 3,5 a 4; densidade 2,85 a 2,95; Brilho vítreo; transparente e translúcido; clivagem perfeita, fractura conchoide quebradiça (ibid.,, pág.48).

Grupo de Quartzo (SiO_2), cristais de sistema trigonal, na maior parte primas hexagonais com superfícies finas piramidais. Superfícies longitudinais transversalmente estriadas. Em geral, salientes numa base, esporadicamente também com as duas extremidades piramidais, isto é, formando pirâmides nos dois extremos. É um grupo de minerais incolor; traço branco, dureza 7; densidade 2,7; brilho vítreo; transparente. Não há clivagem; fractura conchoide, estilhaçada; os agregados são duros, granulares. Por vezes inclusão de outros minerais (clorite, goethite, ouro, hornblenda, pirite, rutílio, turmalina), gases e líquidos (idem.,, pág.40).

Grupo de feldspatos, $K(AlSiO_3O_8)$. Ortoclase, é o nome de um grupo dos feldspatos de constituição semelhante, isto é, a ortoclase e o microclína. É um grupo de minerais de cor branca, amarela, verde, cor de carne, também incolor. Traço branco; dureza 6, densidade 2,53 a 2,56; brilho vítreo, esporadicamente nacarado; transparente a opaco. Clivagem perfeita; fractura concoide irregular, quebradiça. Os minerais associados são a mica, granada, plagioclase, quartzo, espuduménio, turmalina (idem., pág.74).

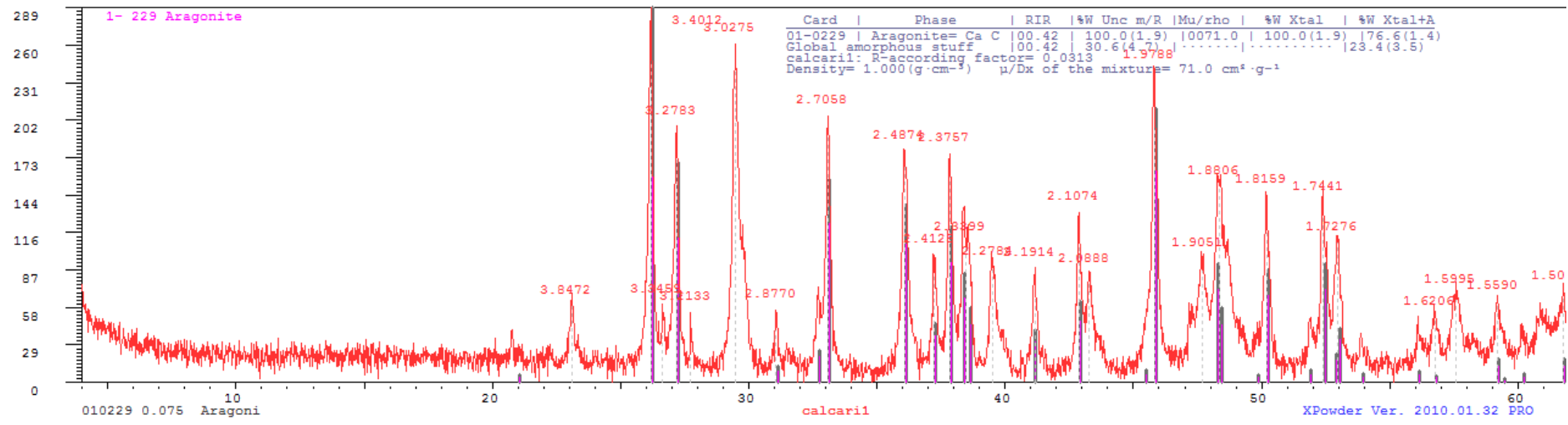
Argilas (rocha sedimentar) são compostas por minerais com cor determinada por diversos componentes. A limonite dá um tom amarelo a castanho, a hematite avermelhado, carvões, betume e sulfuretos cinzento, azulado a negro. Densidade 2,70 a 2,85; peso 2,60 a 2,80. Os componentes principais são os minerais argilosos; os secundários são o quartzo, feldspatos e mica, restos de organismos calcários e substâncias orgânicas. A textura é granular fina a compacta. Sempre estratificada. Em argilas calcárias encontram-se por vezes concreções que vão até ao tamanho de uma cabeça, chamadas septárias, com rugas radiais características, que tornam a ser preenchidas, em parte por novas formações cristalinas. (idem., pág.112).

Os minerais caracterizados acima são os principais identificados através da DRX, nas duas amostras de calcários usados no presente trabalho, alguns tiveram a designação de ‘grupo’ para os minerais que constituem variedades de outros ou que com eles tem qualquer relação, por exemplo, grupo de quartzo e grupo dos feldspatos.

7. 4.2 Análise e interpretação dos dados da DRX

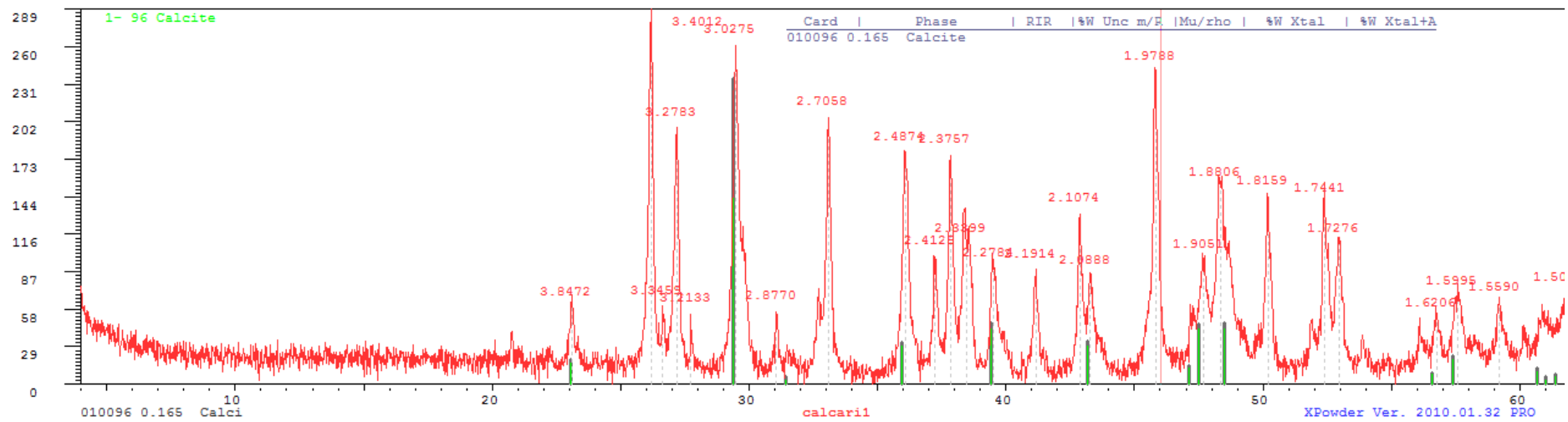
Os resultados da análise por difracção de Raios-X interpretado através de “X-ray Powder diffraction” constam nos difratogramas que a seguir se descrevem.

Figura 17. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Aragonite)



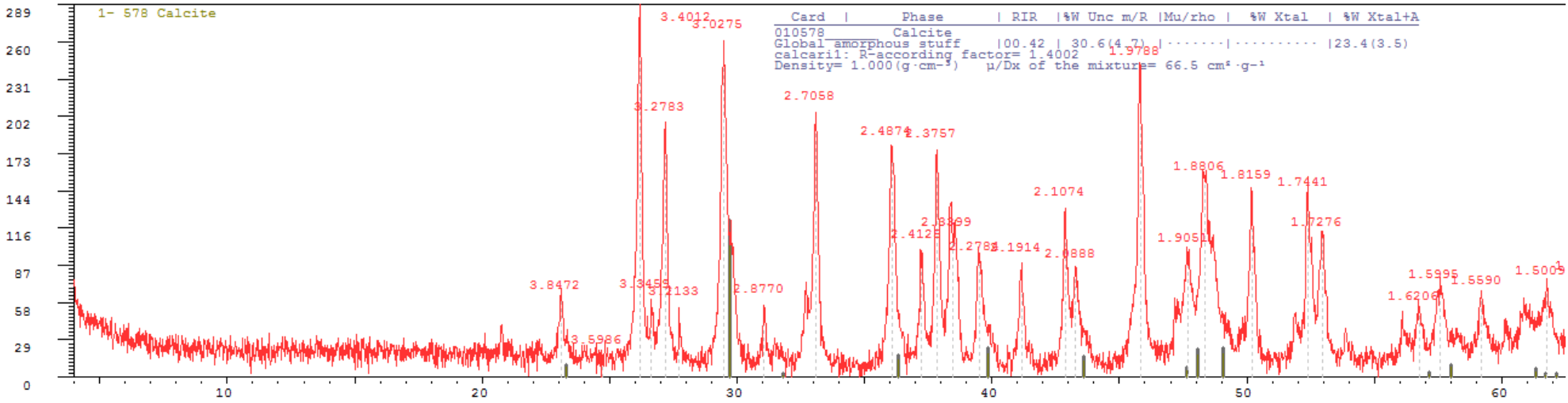
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 18. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Calcite)



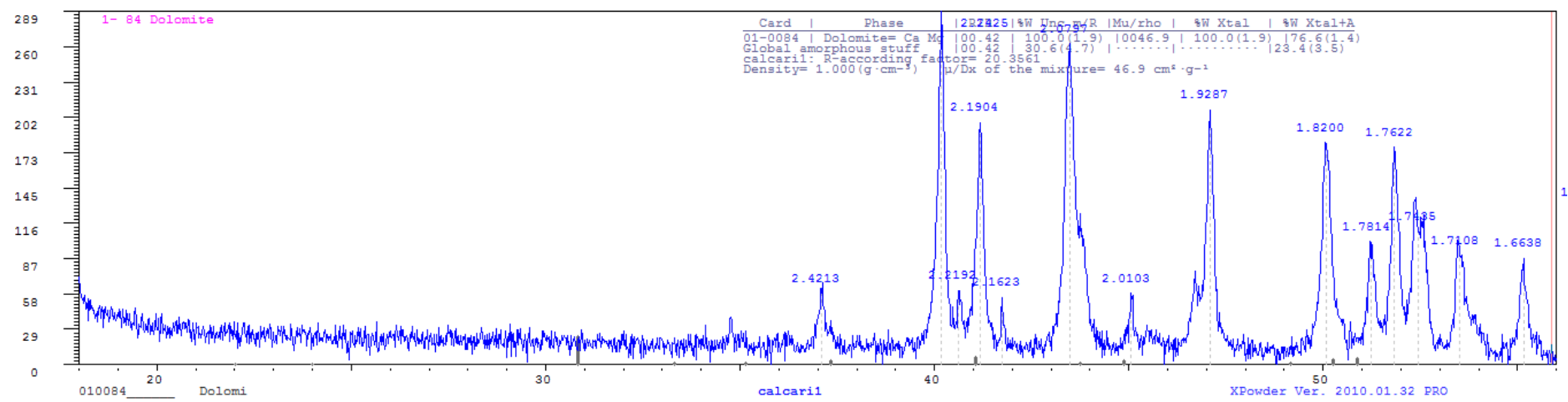
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 19. Difratorama da amostra de calcário1(Pico diagnose Calcite com magnésio)



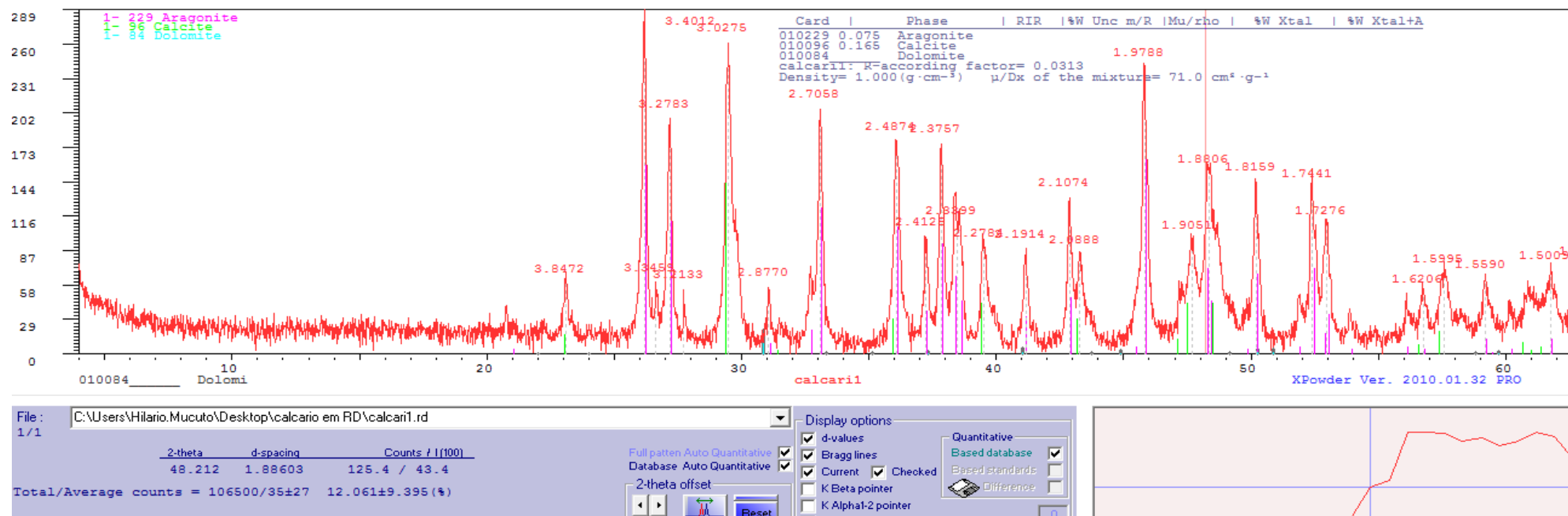
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 20. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose de dolomite)



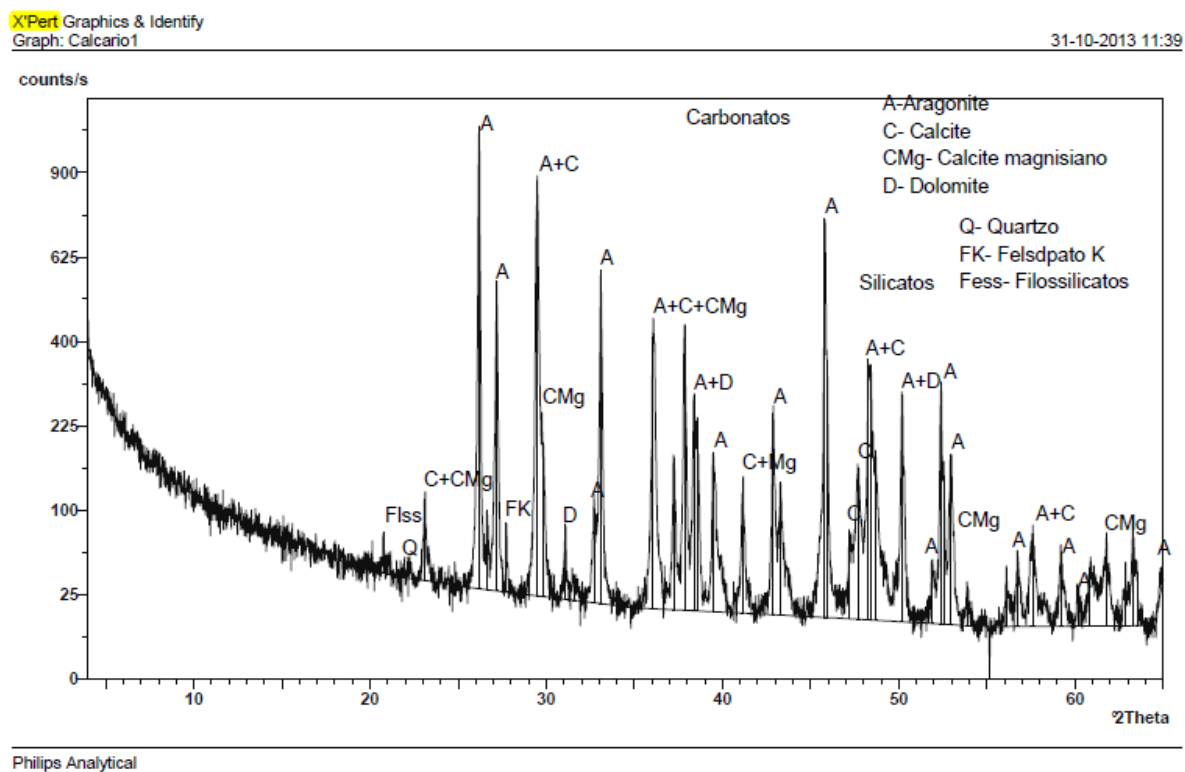
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 21. Difratoograma da amostra de calcário1(Pico diagnose da Aragonite, calcite e dolomite)



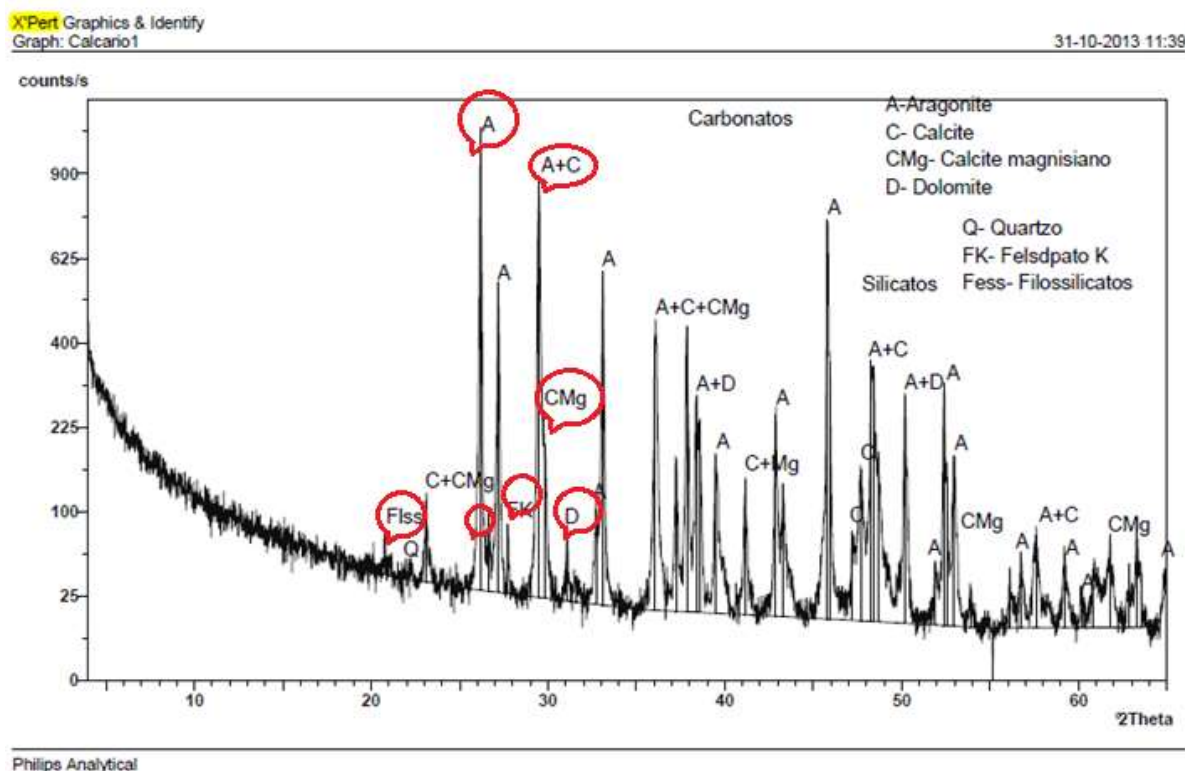
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 22. Principais minerais analisados



Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 23. Difratoograma da amostra de calcário1 (picos de amostragem)



Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

As figuras 17, 18,19,20,21, 22 e 23 representam os diferentes difratogramas resultantes da DRX da amostra de calcário1. Em cada difratograma estão representados os diferentes picos diagnose de cada mineral identificado. Na figura 17 estão identificados os picos do grupo de aragonite, a figura 18 a calcite, 19 pico da calcite com com uma percentagem de magnésio, 20 pico da dolomite, figuras 21e 22 faz-se uma análise cumulativa dos três minerais principais e na figura 23 foram identificados os picos que serviram de amostragem para a avaliação quantitativa.

7. 5. Análise quantitativa dos minerais - Procedimentos

Segundo Guirado (2000) e Feret et al, 1999, a determinação mineralógica quantitativa é basicamente feita por meio da difracção de raios x (DRX) fluorescência de raio x (FRX) e da microscopia. O presente estudo baseou se em duas amostras de calcário, nomeadamente calcário1 e calcário2.

A análise quantitativa dos minerais presentes em cada amostra através dos diferentes difratogramas fez-se a identificação de alguns picos dos minerais que serviram de padrão, passando primeiramente no cálculo da área triangular que o mineral ocupa seguidamente o cálculo da área corrigia que é a relação entre a área medida e o poder reflector do mineral, que

depois passou-se a somar as áreas corrigidas para se ter a media das áreas que finalmente conduziu ao cálculo da percentagem de cada mineral na amostra.

7. 5.1. Análise quantitativa da amostra de calcário1

Os dados da análise quantitativa constam na tabela abaixo

Tabela 9. Dados da análise quantitativa de amostra1

Nº de ordem	Grupo mineral	Área calculada (mm ²)	Área corrigida (mm ²)	(%)
1	Aragonite	19,6	19,6	41
2	Calcite	17,8	17,8	37
3	Calcite com magnésio	3,9	4,88	10
4	Dolomite	2,4	2,4	5
5	Quartzo	0,85	0,43	1
6	Feldspatos potássico	0,7	0,7	1
7	Minerais argilosos	0,45	2,25	5
Total			48,06	100

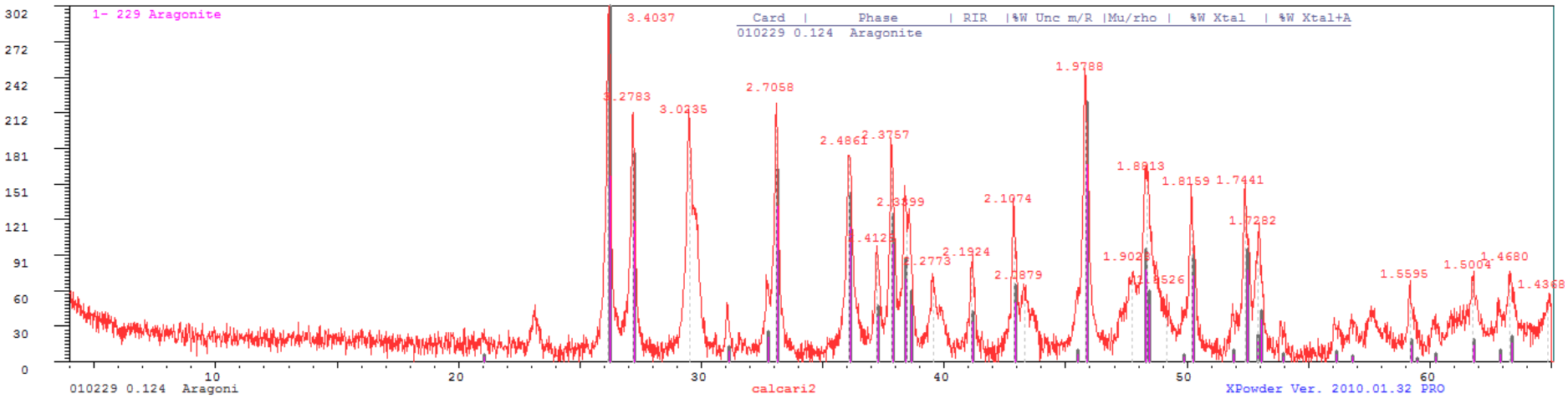
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

O resultado da análise da Difrração de Raios X (DRX) da amostra de calcário 01 permitiu identificar 7 (sete) minerais, nomeadamente: aragonite com 41% na amostra; calcite 37%; calcite com magnésio 10%; dolomite 5%. Minerais não carbonatados como quartzo 1%; feldspatos potássico 1%; minerais argilosos 5%. A partir do gráfico pode se observar igualmente que ela é maioritariamente constituída por Aragonite (CaCO₃) com teores elevados de cao e mínimas quantidades de outros minerais não carbonatados como produtos de alteração.

A Aragonite aparece com maior representatividade seguido da calcite apresentando picos característicos e elevados dos carbonatos cálcio (CaCO₃) e a seguir a dolomite, CaMg(CO₃)₂ esta última com menor teor de magnésio.

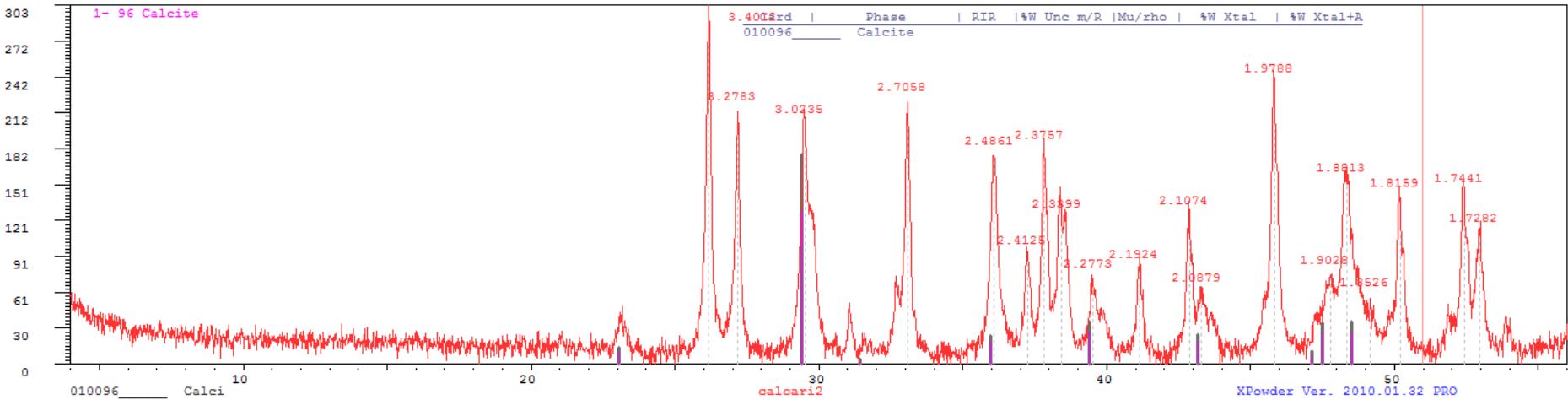
Análise por DRX revelou que a maior quantidade dos minerais identificados são carbonatados e são essencialmente do grupo de Aragonite. Os feldspatos alcalinos assim como os filossilicatos, embora com menor representação, também estão presentes na amostra. A seguir passa se a analisar os difratogramas referentes a amostra de calcario2

Figura 24. Difratoograma da amostra de calcário2 (Picos da Aragonite)



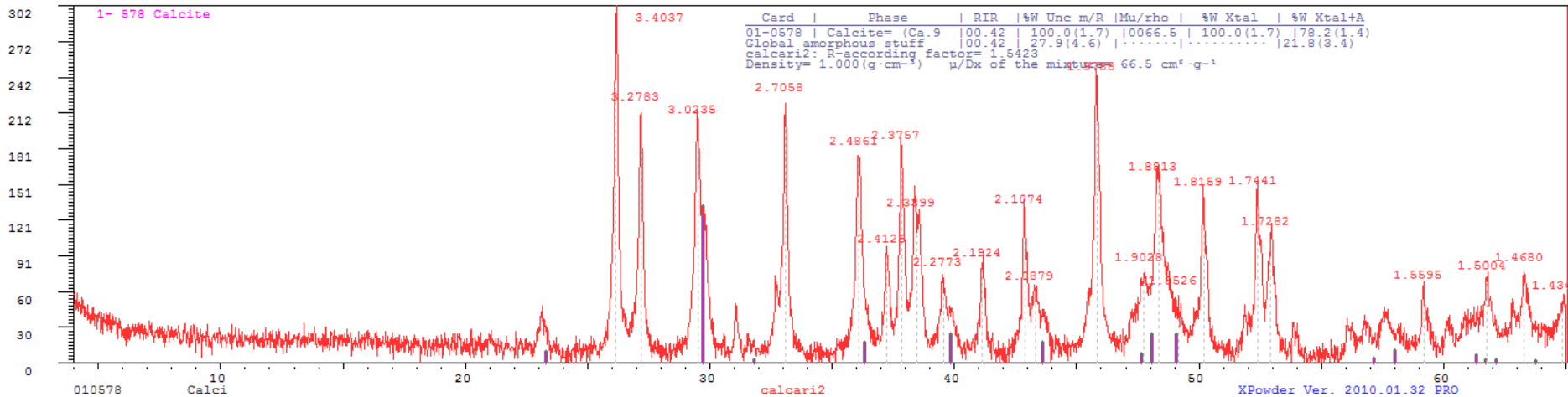
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 25. Difratoograma da amostra de calcário2 (Calcite)



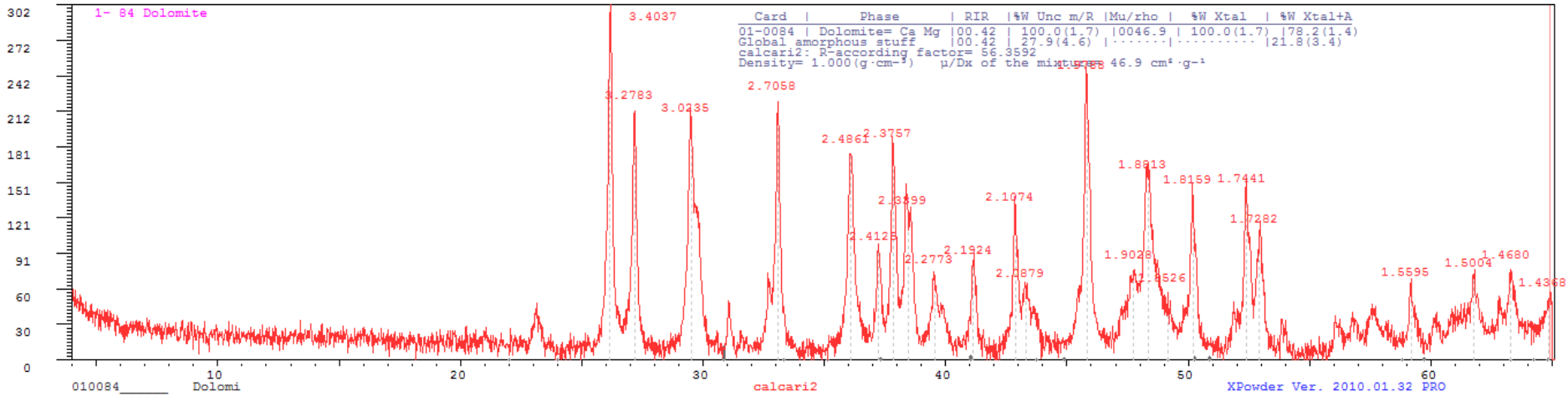
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 26. Difratoograma da amostra de calcário2 (Calcite com dolomite)



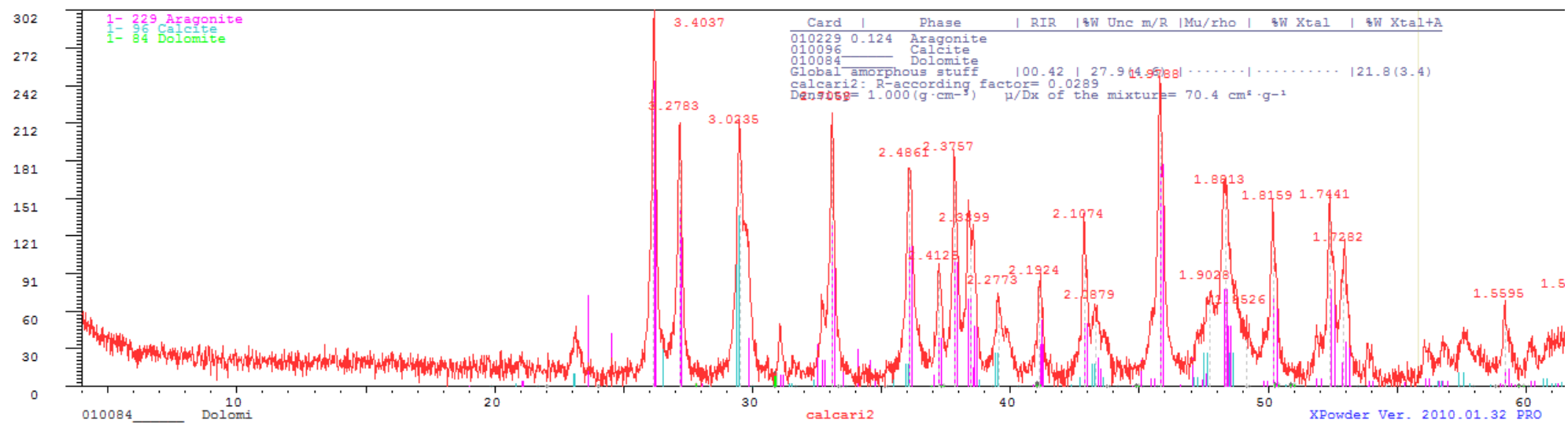
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 27. Difratoograma da amostra de calcário2 (dolomite)



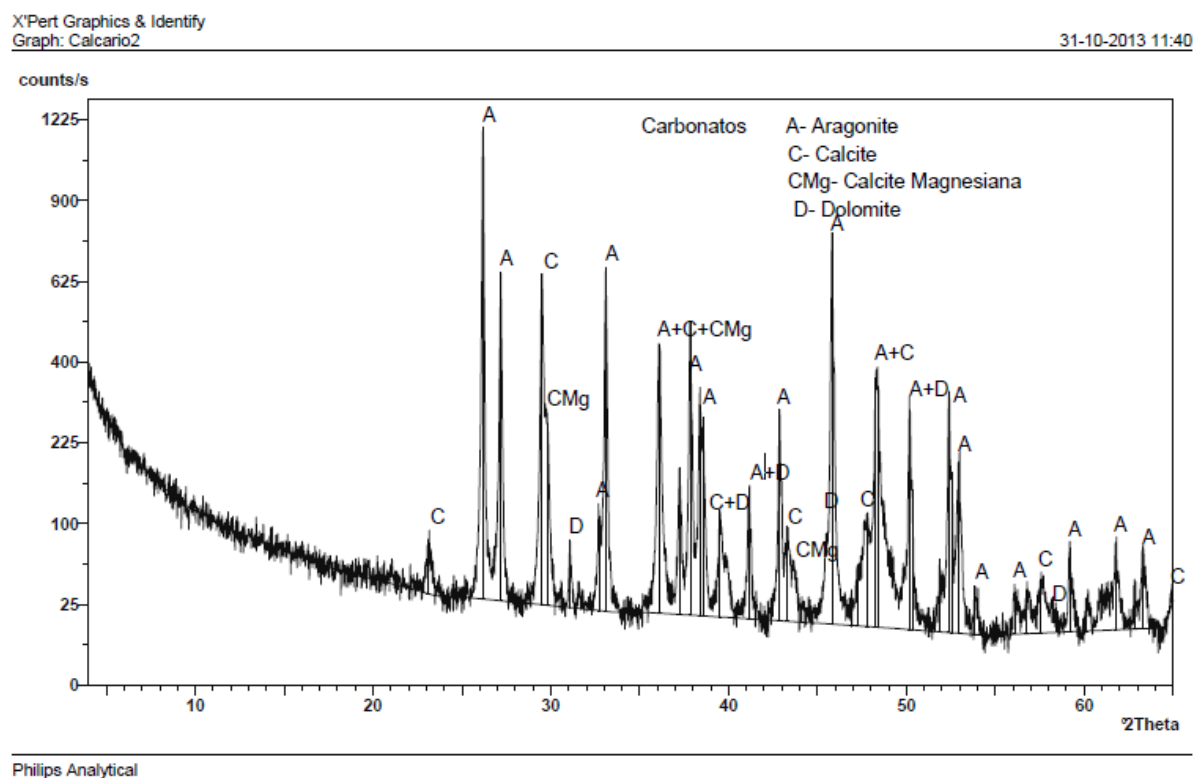
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 28. Difratoograma da amostra de calcário2 (Picos da Aragonite,calcite e dolomite)



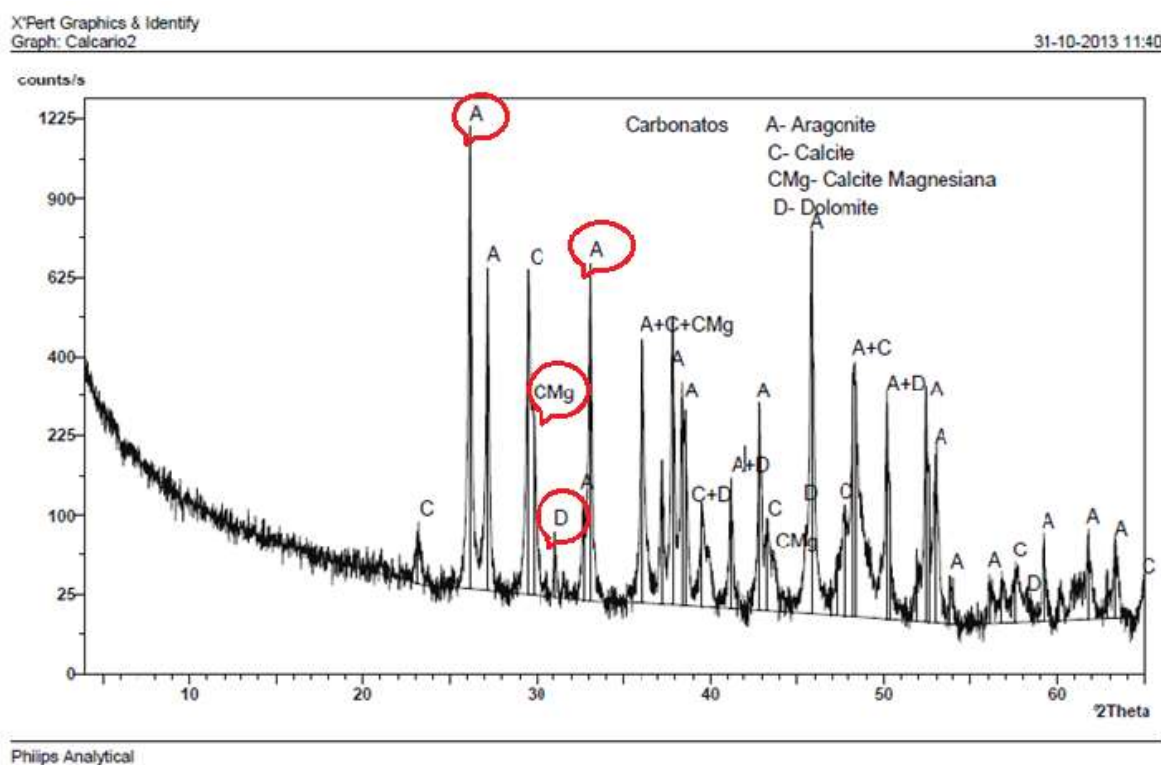
Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 29. Principais minerais analisados



Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Figura 30. Difratoograma da amostra de calcário2 (picos de amostragem)



Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

As figuras 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 representam os diferentes difratogramas resultantes da DRX da amostra de calcário2. Em cada difratograma estão representados os diferentes picos diagnose de cada mineral identificado. Na figura 24 estão identificados os picos do grupo de aragonite, a figura 25 a calcite, 26 pico da calcite com uma percentagem de magnésio, 27 pico da dolomite, figuras 28 e 29 fez uma análise cumulativa dos três minerais principais e na figura 30 foram identificados os picos que serviram de amostragem para a avaliação quantitativa.

Como resultado da análise por DRX na amostra de calcário2 através dos difratogramas um total de 24 picos (pontos) dos quais 15 de aragonite, 5 da calcite e 4 de dolomite foram analisados. A aragonite identificou se como predominante na amostra2

7. 5.2. Análise quantitativa da amostra de calcário2

Os dados da análise quantitativa constam na tabela abaixo

Tabela 10. Dados da análise quantitativa de amostra2

Nº de ordem	Grupo mineral	Área calculada (mm ²)	Área corrigida (mm ²)	(%)
1	Aragonite	19,6	19,6	57
2	Calcite	10,35	10,4	29
3	Calcite com magnésio	2,1	2,63	8
4	Dolomite	2,1	2,1	6
Total			34,68	100

Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX

Os principais minerais identificados na amostra de calcário 2 através da difracção de raios-X foram: Aragonite com 57% na amostra, seguida da Calcite 29%, Calcite com magnésio 8% e finalmente dolomite 6%. Na presente amostra em estudo não foram identificados os minerais não carbonatados.

7. 5.3. Dados compilados (análise química, mineralógica e índices de hidraulicidade e cimentação)

A tabela 11 a seguir, é relativo a compilação dos dados da análise química, mineralógica e os índices de hidraulicidade e cimentação, com vista a fazer uma comparação com maior precisão para se apurar os principais minerais constituintes de cada parâmetro analisado facilitando de certa maneira tirar conclusões a cerca da qualidade do calcário estudado para a produção de cimento.

Tabela 11. Resumo de análises (mineralógica, química e índices de hidraulicidade e cimentação)

Tipos de análise	Mineral/elementos	Calcário 1 (%)	Calcário 2 (%)
Mineralógica	Aragonite	47	57
	Calcite	37	29
	Calcite magnesiana	10	8
	Dolomite	5	6
	Quartzo	1	-
	Feldspatos potássico	1	-
	Filossilicatos (argilas)	5	-
Química	LOI	44.250	43.980
	Na ₂ O	0.199	0.243
	MgO	0.838	1.079
	Al ₂ O ₃	0.171	0.092
	SiO ₂	0.404	0.325
	P ₂ O ₅	0.087	0.088
	SO ₃	0.285	0.310
	Cl	0.052	0.060
	K ₂ O	0.009	-
	CaO	52.915	53.081
	Fe ₂ O ₃	0.027	0.023
	Sr	0.765	0.716
Índices	Hidraulicidade	0,43	0,35
	Cimentação	2,47	1,88

Fonte: Autor, elaborado a partir da DRX e XRF

Com base nos dados que constam na tabela 11 resultantes da análise mineralógica pode-se afirmar que a amostra 1 é composta por uma junção de minerais carbonatados e não carbonatados. Os principais minerais carbonatados identificados nesta amostra são: a aragonite, calcite, calcite magnesiana e a dolomite, com teores de 47%, 37%, 10% e 5% respectivamente. Os minerais não carbonatados que constam na amostra são quartzo, feldspatos potássicos e filossilicatos (como é o caso de argilas) com teores de 1%, 1% e 5% respectivamente. Comparando com a amostra 2 nota-se que esta é simplesmente composta de minerais carbonatados, não havendo neste caso os outros minerais acessórios. A aragonite nesta amostra tem valores superiores à amostra 1, ou seja, 57%; os outros minerais como a calcite, calcite magnesiana e dolomite variam na ordem de 29%, 8% e 6% respectivamente.

Fazendo a discussão dos dados no concernente a análise química, a mostra 1 tem mais elementos químicos representativos, diferenciando se da amostra 2 no facto desta não ter na sua constituição, o óxido de potássio (K_2O). Apesar disso a amostra 2 tem mais magnésio (1,079) que a amostra 1, (MgO igual a 0.838). Os outros teores têm umas proporções inferiores a 1%.

Analizando os índices de hidraulicidade e cimentação nota-se que a amostra 1 possui valores de índices relativamente elevados que a amostra 2, ou seja, 0,43%, índice de hidraulicidade e 2,47% o índice de cimentação isto no que refere a amostra 1. E 0,35% de índice de hidraulicidade e 1,88, índice de cimentação na amostra 2.

Analizando de forma conjunta, pode se concluir que a amostra 1 é mais impura, tem muitos minerais acessórios e é mais hidráulica que a 2ª amostra. Para fins de produção de cimento torna se mais viável a 1ª amostra de calcário pelas razões acima mencionadas.

8. Conclusões

O estudo teve como enfoque a viabilidade técnica de aplicação do calcário de Nacala, Moçambique, na produção do cimento. Os dados das amostras de calcário foram colectados pelo autor do presente trabalho numa saída a pedreira de Relamzapo, distrito de Nacala, no território moçambicano no mês de Setembro do ano de 2013 os dados analisados no laboratório de Geociências da Universidade de Aveiro no dia 31 de Outubro do mesmo ano. Foram colectadas duas amostras e os pontos da amostragem tiveram uma separação de 50 metros de distância entre ambas.

A caracterização das matérias-primas do calcário foi por FRX e DRX. Foram duas amostras usadas para o presente estudo, designadas ao longo do trabalho como calcário1 e calcário 2. Os ensaios químicos das duas amostras em referência visaram a determinação dos teores de CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃, Cl, Sr, para analisar se o seu comportamento geoquímico responde as exigências definidas para a produção de cimento.

Da análise química dos teores conclui-se que os teores nas amostras analisadas variam de 53,915% a 53,081% de (CaO); 0,838% a 1,075% de (MgO); 0,027% a 0,023% de (Fe₂O₃); 0,009% a nula de (K₂O); 0,404% e 0,325% de (SiO₂); 0,285% a 0,310% de (SO₃), respectivamente amostras de calcário 1 e 2.

Dos resultados dos ensaios químicos efectuados, as amostras em destaque apresentam na sua composição química, alta percentagem de óxido de cálcio (CaO) na ordem de 52,915% na amostra 1 e 53,081% de óxido de cálcio (CaO) na amostra 2. Esses resultados permitiram concluir que o material testado reúne as condições exigidas para a produção de cimento ou seja, todas as composições apresentaram resultados satisfatórios em termos de elevados teores de matéria carbonatada e pouca matéria silicatada.

Segundo os dados laboratoriais da amostra de calcario1, a maior percentagem dos minerais identificados vai para o óxido de cálcio (CaO) 52,9% e LOI ou PF com 44,3% que exprime a perda de massa do calcário após o aquecimento em mufla a 1000°C. Outros elementos contidos na referida amostra, nomeadamente os óxidos de alumínio, sódio, magnésio, silício, fósforo, enxofre, cloro, ferro, estrôncio, têm uma percentagem abaixo de 1% o que revela ser um calcário sem muitas impurezas.

A semelhança com a amostra1 acima descrita, a amostra 2 apresenta igualmente um valor elevado de óxido de cálcio (53%), o valor da perda ao rubro descrita acima, corresponde numa média de 44%. O valor de óxido de magnésio atinge a unidade o que não acontece na

amostra1 que o seu valor é inferior a este. A amostra2 não possui óxido de potássio, os outros elementos presentes na amostra possuem uma percentagem abaixo de 1%. Pode concluir que a amostra 2 é mais pura em relação a primeira.

Embora alguns parâmetros se encontrem no intervalo aceitável em termos de teores, é preciso que o CaO esteja em teores suficientemente elevados pois ele é determinante no processo de clínquerização.

Tendo em conta com o índice de hidraulicidade como refere Branco (1981), a amostra 1 é eminentemente hidráulica, pois o índice igual a 0,43%. E amostra 2 é hidráulica padrão, pois o seu índice é igual a 0,35%. O outro índice não menos importante é o de cimentação. De acordo com este índice e as categorias previstas anteriormente, as duas amostras analisadas são eminentemente hidráulica, os seus valores oscilam de 2,47% e 1,88%, respectivamente calcário1 e 2.

Pode-se afirmar que amostra 1 tem todos os índices elevados chegando-se a conclusão que esta apresenta melhores qualidades para a produção de cimento que a segunda amostra analisada.

O resultado da análise da Difracção de Raios X (DRX) da amostra de calcário 01 permitiu identificar 7 (sete) minerais nomeadamente, aragonite com 41% na amostra, calcite 37%, calcite com magnésio 10%, dolomite 5%, minerais não carbonatados como quartzo 1%, feldspatos potássico 1% e minerais argilosos 5%. Foi possível observar igualmente que ela é maioritariamente constituída por Aragonite (CaCO_3) com teores elevados de CaO e mínimas quantidades de outros minerais não carbonatados, estes, como produtos de alteração.

Os principais minerais identificados na amostra 2 através da difracção de raios-X foram aragonite com 57% na amostra, seguida da Calcite 29%, calcite com magnésio 8% e finalmente a dolomite 6%. Na presente amostra em estudo não foram identificados os minerais não carbonatados, esta amostra revela-se bastante pura em relação a primeira amostra analisada na presente dissertação.

Em toda matéria-prima analisada, ou seja, amostra 1 e 2, revelou que a maior quantidade dos minerais identificados são carbonatados, essencialmente do grupo da aragonite e calcite. Os feldspatos potássicos assim como os filossilicatos, em especial os minerais de argila embora com menor representação também estão presentes na amostra1.

O facto dos resultados da difracção de raios X (DRX) revelarem que a amostra 1 tenha minerais não carbonatados como quartzo, feldspato potássico e argilas, pode-se afirmar que o calcário é impuro e para fins de produção de cimento é boa matéria-prima pois que não precisa de muitos aditivos e consequentemente conduz a menores custos de produção. Enquanto a amostra 2 é muito pura, revela-se pobre em matéria silicatada, ou quase inexistente e muito rica em matéria carbonatada, a ser assim para a produção de cimentos vai precisar de mais adição de outras matérias não carbonatadas pois que o Cimento depende para sua fabricação para além do calcário, também de outros aditivos como, argila, gesso e clínquer. A utilização da amostra 2 pode acarretar custos adicionais em termos económicos.

Fazendo a comparação dos calcários usados para a produção do cimento analisados nos laboratórios do Departamento de Geociência da UA e no laboratório da empresa de cimentos de Moçambique em Nacala, pode-se tirar a conclusão de que eles não têm muitas variações em termos composicionais. As pequenas diferenças em termos de teores químicos não constituem nenhum constrangimento na qualidade do cimento. Aconselha-se a empresa Cimentos de Moçambique em Nacala a usar os dois tipos de calcários analisados nos dois laboratórios (UA e na sua empresa), pois todos os materiais ensaiados reúnem boas qualidades e requisitos para a produção de cimento, de acordo com as especificações avançadas pelos autores citados ao longo do trabalho.

Os resultados obtidos neste estudo permitem ainda definir diferentes linhas de desenvolvimento de trabalhos futuros, tais como a aplicação desse calcário para outros fins como correcção de solos, dentre outras contribuições.

Ao fim de todos os ensaios efectuados às duas amostras de calcário, confirma-se que o material ensaiado é rico em minerais carbonatados, possui boa viabilidade técnica para a produção do cimento, podendo-se concluir que todas as hipóteses avançadas pelo autor, foram testadas, confirmadas e validadas através dos ensaios laboratoriais efectuados na UA.

Sobre as questões ambientais relativos a exploração do calcário na pedreira de Relamzapo, distrito de Nacala- Moçambique pode-se dizer o seguinte:

- A poluição atmosférica gerada pela fábrica é significativa, atingindo uma área de pelo menos 5 km de raio com fumaça e poeira oriundas do processo produtivo. Em épocas de

ventos mais intensos estas abrangem até o centro da cidade e na cidade baixa que separa a 8 km de distância para a fábrica de cimento;

- Em alguns lugares a profundidade de exploração excede uma possança média de 3 metros havendo material constituído por areia- calcária havendo formação de escombreyras que alteram a morfologia da linha da costa adjacente à praia de Relanzapo;
- A área de exploração de calcário localiza se a partir da ilha da costa, da maré mais alta a uma distância média nunca inferior a 100 metros mantendo inalterável a morfologia da costa consequentemente o seu valor paisagístico natural permite, portanto, manter inalterável grande parte do ecossistema da praia de Relanzapo;
- Não são aplicados meios de desmonte com recurso a explosivos, estando de forma garantida a segurança do meio envolvente no que refere a eventuais projecções de objectos.

Relativo aos impactes sociais decorrentes da implantação da fábrica de cimento no distrito de Nacala- Moçambique pode se dizer o seguinte:

- O desenvolvimento das infra-estruturas e bem-estar da população residente no distrito de Nacala e na província de Nampula em geral, associado ao desenvolvimento do país com recurso aos meios internos e em parte possível graças ao pleno funcionamento das fábricas de cimento e outras espalhadas por todo território moçambicano, veio alavancar a economia do país, gerando mais empregos ao nível local assim como regional aliviando a pobreza absoluta que assolava o país a alguns anos atrás.

9. Sugestões

A fábrica de cimentos de Nacala desempenha um papel importante na economia local e regional. Portanto deve ter sua actividade viabilizada. Quanto os impactos identificados decorrentes das condições do seu funcionamento e da extracção do calcário para a mesma, podem ser evitados ou minimizados desde que algumas medidas sejam tomadas no sentido de evitar o agravamento da situação ambiental.

Apesar dos resultados obtidos do calcário serem encorajadores, ou seja, estarem dentro dos padrões pré- estabelecidos para a produção do cimento de acordo com os vários autores citados ao longo do trabalho, sugere-se também que se apliquem outras técnicas de análise para além das aplicadas neste trabalho, com vista a confirmar outros teores químicos ou mineralógicos nas amostras, com vista a ter outras qualidades desses calcários para outras aplicações industriais.

Sugere-se igualmente que continuem a aplicar os calcários analisados na produção do cimento, mas também pesquisem outras áreas com potencialidades acima desta com vista a ter uma melhoria contínua no processo de fabricação do cimento naquela região do Norte de Moçambique.

Quanto aos procedimentos de lavra de calcário empregados tem causado alguns problemas que podem resultar em danos que podem inviabilizar a exploração de outros recursos no futuro próximo, desta forma é necessário implantar certas medidas visando minimizar os impactos e tornar a área lavrada apta para outros projectos. A ser assim, pode se adoptar as seguintes medidas:

- Relocalização da frente de lavra de modo a manter uma faixa de protecção de 100 metros entre a praia e a mina;
- Demarcação topográfica das áreas de expansão antes do avanço da frente de lavra de modo a minimizar o desmatamento ao mínimo necessário;
- Restrição da mineração a uma profundidade máxima de 4 metros abaixo do nível do solo de modo a impedir a penetração da água no chão da mina;
- Proibição de novos acessos para as áreas de lavra que impeçam uma retirada de dunas de areia;

- Plantio de espécies rasteiras nos novos taludes e nas áreas já lavradas, para tal deve se proceder a colecta de sementes e ou mudas das espécies naturalmente ocorrentes sobre as dunas e escolher a melhor época do ano e a melhor espécie de planta como as casuarinas e mais;
- Treinamento de operadores das máquinas e equipamentos e aos demais trabalhadores da mina para que os procedimentos acima supracitados sejam cumpridos;
- Elaboração de campanha de educação ambiental visando informar acerca da fragilidade do ecossistema local, da sua importância, bem como do papel das pessoas e das colectividades no sentido de preservá-lo.

E como medidas a médio e longos prazos; acompanhamento sistemático dos resultados dos trabalhos de reabilitação com vistorias semestrais nas áreas recuperadas e elaboração de relatórios anuais incluindo no mínimo informações sobre as superfícies em (hectares) dos locais reabilitados e sua localização em planta;

- Um registo temporal dos trabalhos de reabilitação executando em cada área, indicando o ano de plantio e as espécies utilizadas;
- Plantio de espécies arbóreas ao longo da estrada de transporte do calcário até a fábrica de cimento, numa distância de 18 km, com vista a redução da emissão de poeira decorrente do trabalho de caminhões;
- Interrupção de extracção de calcário na praia de Relanzapo na época da desova de tartaruga marinha.

10. Bibliografia

AFONSO, R. e MARQUES, J. *Recursos minerais de Moçambique, Contribuição para o seu conhecimento*. 2ª Edição, Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, (1998).

ANDRADE, F. & Ferreira, A. *Ambientes intertidais. in Estudo de impacto ambiental da marina e novo cais dos “ferries” do Tróiaresort. Sonae Turismo*. Lisboa. 2001

ARAUJO, R.; Freitas. (S/D). *Materiais de Construção*, disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmund/Aglomerantes.pdf>>, acessado a 13/08/09.

BATTELLE, (2002). *Toward a Sustainable Cement Industry*. March of 2002. An *Independent Study Commissioned by the WBCSD*. Disponível em: www.wbcsd.org, acedido em 07/2013.

BENTON, Michael J. *Breve história da vida*. 1ª edição, Alfragide- Portugal, 2010.

BONDYREV, I. V. *Notícia explicativa (provisória) da Carta Geomorfológica de Moçambique*. Ministério dos Recursos Minerais, Instituto Nacional de Geologia, Maputo, 1983.

BRANCO, J. Paz. *Manual do pedreiro*. Lisboa: LNEC, 1981.

BRINDLEY, G.W. e Brown G. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. Londres, Mineral. Soc.1980.

CAMARGO CORREA S.A.; *Relatório anual 2008*. Disponível no site: http://www.camargocorrea.com.br/pdf_ra/ra_2008_port.pdf acedido em 03/2014.

CÍLEK, V. G. *Industrial Minerals of Mozambique. Geological Survey, Prague*. 1989.

CIMPOR, *Relatório de Sustentabilidade, 2008. Lisboa*. Disponível no site: <http://www.cimpor.com/artigo.aspx?cntx=hZTt1Oy8NR8ItlSo9adYdns%2Foi8BPwfEqUraHGAnrA%2FME8CHEhdgwuvhR1sqS6Sg>. acedido em 02/2014.

CEIA, Carlos. *Normas para apresentação de trabalhos científicos*. Edição revista e actualizada, Lisboa, 2012.

COUTINHO, A. *Fabrico e propriedades do betão*. Vol.1, Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, SL, 1971.

COUTINHO, J. *Materiais de construção 2*. 1ª Parte – ligantes e caldas, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto. 2002.

CRNKVIC, P.M.' APOLITO, W.L. SILVA FILHO, C.G. MILIOLI, F.E./ PAGLIUSO, J.D. *O efeito da granulometria na decrepitação durante a decomposição térmica de calcários e de carvão. Química Nova*. Vol. 27. São Carlos, SP, 2004.

DE MARTONNE, E. *Noções Gerais*. In: *Panorama da geografia: geografia física*. Vol.1. Lisboa: Edições Cosmos, 1987.

GOMES, C. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1988.

GOMES, P. C. C. *Geografia e modernidade*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GRAY, M. *Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 2004.

GTK Consortium. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume.4, Maputo. 2006^a.

GTK Consortium. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 1, Maputo. 2006b.

GTK Consortium. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 2, Maputo. 2006c.

GTK Consortium. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 3, Maputo. (2006d).

GUIMARÃES, José Eptácio Passos. *A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil*. São Paulo: Pini, 1997.

GUIRADO F.M Gali S. e Chinchón S. *Quantitative Rietveld analysis of aluminous cement clinker phases*. Cement and concrete Research, S/ed., 2000.

HOLANDA, C. J. N.; GOMES, A. E. P.; MELO, E. B. de; Maranhão, R. J. L.; & outros. *Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais*, 1987.

HOLCIM, *Relatório de Sustentabilidade*, Disponível no site: <http://www.holcim.com.br/holcimweb/gc/BR/uploads/relatorioWeb.pdf> 2007. São Paulo. Acedido em 1/2014.

ITAMBÉ CIMENTOS; *divulgação da Responsabilidade Sócio-Ambiental da empresa*. Disponível no site: <http://www.cimentoitambe.com.br/itambe/responsabilidade-socioambiental/sistema-integrado-de-gestao>. Acedido em 1/2014.

JUSTINIANO, E. *Registro fotográfico*. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). *Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

KLEIN, C. Mineral Science. 22nd Edition, p. 411-413. ISBN: 0-471- 25177-1. The University of New México. 2002.

LÄCHELT, S. *Geology and mineral resources of Mozambique*. Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique. 2004.

LAFARGE, 2006. *Relatório Social e Ambiental 2005/2006*. Lafarge Cimento. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível no site: http://www.lafarge.com.br/relatorio_2005_06.pdf. Acedido em 2/2014.

LAKATOS, Eva Maria e Marina de Andrade Marconi. *Metodologia científica. Ciência e conhecimento científico, métodos científicos, teoria, hipóteses e variáveis*. 2ª ed. revista e actualizada, São Paulo; Atlas, 1991.

LAUMANN, M., Ruggieri, R., Germano, A., Galletti, I., Gebauer, H. D., Germano, A. 1999.

LEINZ, V. AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. São Paulo: Companhia Editora Nacional; 10ªed., 1987.

LICHT, Octávio Augusto Boni, Carlos Siqueira Bandeira de Mello e Cassio Roberto da Silva. *Prospecção geoquímica, depósitos minerais metálicos, não- metálicos, óleo e gás*. Rio de Janeiro, Brasil 2007.

LUZ, B; LINS, A. F. *Rochas & Minerais Industriais – Usos e especificações*. CETEM-MCT Rio de Janeiro, 2005.

MACEY, P. H., Ingram, B. A., Cronwright, M. S., Botha, G. A., Roberts, M. R., Grantham, G.H., Kock, G. S., Maré, L. P., Botha, P. M. W., Kota, M. 2006.

MCT, 2010. *Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - Produtos Minerais (Parte I) - Produção de Cimento*. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

MINED. *Atlas geográfico*. Ministério da Educação, Esselte Map Service AB, Vol. 1, 2ª edição, revista actualizada, Estocolmo, Suécia. 1986.

MOORE, Duane M., Reynolds, Robert C. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press. 2nd edition (1997).

MOURA, A. R. *Notícia explicativa da parte sedimentar do grau quadrado 1340 (relatório inédito)*. Serv. Geol. Minas, Lourenço Marques. (1974).

- MOURA, António e José Lopes Velho. *Recursos geológicos de Portugal*. Edição Palimage, Coimbra 2012.
- MUCHANGOS, Anicetos. dos. *Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais*. Edição: do Autor, 1999.
- Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000, folhas 1537 a 1540, 1637/1638 e 1639/1640. Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique. 1999.
- OLIVEIRA, Aline Fernandes de, *Materiais de Construção*, 2010.
- PANIZZA, M. & Piacente, S. *Geomorphological assets evaluation*. Zeitschr. Für. (1993).
- PETRUCCI, Eládio G. R. *Materiais de construção*, 8a ed. Globo, Porto Alegre.
- PETRUCCI, Eládio G.R. *Concreto de cimento Portland*. São Paulo: Globo, 14 ed. 2005.
- Portland: Caracterización y activación alcalina. *Materiales de Construcción*, 2006.
- Relatório. *Projecto espeleológico europeu* “Cheringoma (relatório inédito), 1998.
- SALES, Altino (S/D). *Fabricação de cimento*. (versão online) <http://www.cienciaquímica.hpg.ig.com.br/interessant/cimento.htm>; acedido em 06/2014.
- SCHUMANN, Walter. *Guia dos minerais*. 2ª edição, Lisboa 2001.
- SAMPAIO, A. e ALMEIDA, S. *Dolomito e calcário, Comissão técnica para elaboração do livro*. Rio de Janeiro, www.cetem.gov.br/publicação/CTS/CT005-132-00.pdf (2005).
- SAMPAIO, A. e ALMEIDA, S., *Dolomito e calcário, Comissão técnica para elaboração do livro*, Rio de Janeiro, www.cetem.gov.br/publicação/CTS/CT005-132-00.pdf.
- SANTANA, Chapada do Araripe, CE. *Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo*. SIGEP 5, Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. <http://www.unb.br/ig/sigep/sítios.htm#5>. Minérios de Pernambuco. Recife – PE, 2005.
- SANTIAGO, CC. *Argamassas tradicionais de cal* [online]. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p. ISBN 978-85-232-0471-6. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>. FERET B. Feret. *Cement an concret research*. (1999).
- Summary. World Business Council for Sustainable Development*. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 11/2013.
- THOREZ, J.. *Practical Identification of clay minerals*. Dison (Belgique), G.Lelotte. 1976.
- TOMITA, L. M. S. *Trabalho de campo como instrumento de ensino em Geografia*. GEOGRAFIA: Revista do Departamento de Geociências. Londrina, vol.8, 1999.

VIANA, M. S. S. NEUMANN, V. H. L.. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*,. O Membro Crato da Formação Santana. http://www.geocities.com/cariri_ce/http – fev, 2007.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L. *Membro Crato da Formação*. 2002.

VIDAL, F. W. H. 1995. *A indústria extractiva de rochas ornamentais no Ceará*. Dissertação de (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

VIDAL, F. W. H.; ROBERTO, F. A. COSTA. *Rochas Ornamentais do Estado do Ceará. Avanços e Transferência Tecnológica em Rochas*. 2001.

VOTORANTIM, *Relatório de Sustentabilidade*, 2008. Disponível no site: <http://www.votorantim-cimentos.com.br/htms-ptb/Default.htm>. Acedido em 1/2014.

<https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#inbox/146a52412ac4cbfa>. Acedido em 6/2014.

WBCSD, 2004. *The Cement Sustainability Initiative. Health and safety in the cement industry: Examples of good practice* . World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 9/2013.

(2005), WBCSD, 2005a. *Environmental and Social Impact Assessment Guidelines. Land and Communities*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 9/2013.

WBCSD, 2005b. *The Cement Sustainability Initiative. Progress Report*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 9/2013.

WBCSD, 2005c. *Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 10/2013.

WBCSD, 2009a. *Cement technology Roadmap 2009. Carbon Emission reductions up to 2050*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 11/2013.

WBCSD, 2009b. *The Cement Sustainability Initiative. Cement Industry Energy and CO2 Performance: “Getting the Numbers Right”*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 11/2013.

WBCSD, 2009d. *The Cement Sustainability Initiative. Recycling Concrete. World Business Council for Sustainable Development*. Disponível em www.wbcsd.org. Acedido em 11/2013.

WBCSD, 2009e. *The Cement Sustainability Initiative. Recycling Concrete. Executive*.

1. Anexos

1.1. Ensaios de calcários efectuados no laboratório de Geociências da UA.

1.1.1. Ensaios químicos

Na tabela abaixo esta representado os dados da análise química das amostras de calcários recolhidas na pedreira de Relanzapo no distrito de Nacala em Moçambique e efectuadas no dia 31 de Outubro de 2013 no laboratório do Departamento de Geociências.

Figura 1. Dados da análise química do laboratório de Geociências da UA

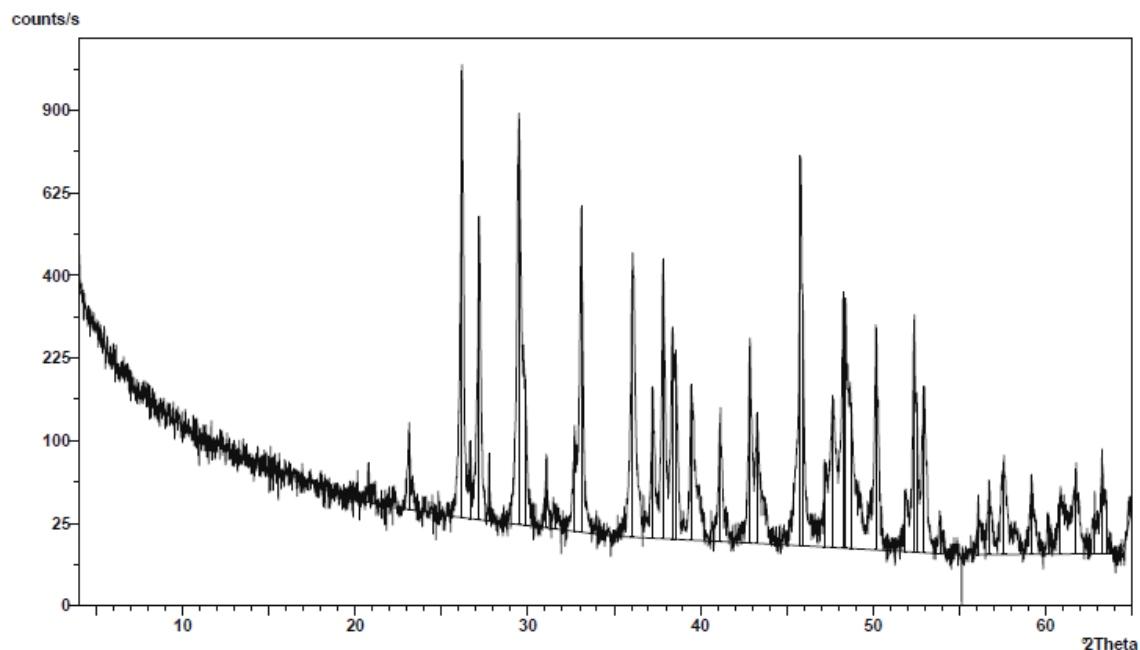
D42				fx														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q		
Universidade Aveiro																		
Departamento de Geociências																		
Results quantitative - Pro-Trace																		
ND=<Min.LLD(ppm)																		
31 de outubro de 2013																		
Hilário (Moçambique)																		
	Sc	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Y			
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)			
CALCÁRIO1	11.0	ND	20.1	ND	ND	ND	15.2	ND	1.1	ND	4.9	1.6	15.4	14.5	2.0			
CALCÁRIO2	12.8	ND	19.6	ND	ND	ND	10.9	ND	1.0	ND	ND	1.1	14.5	14.1	1.9			
	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm			
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)			
CALCÁRIO1	ND	ND	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	10.3	ND	ND	ND	33.9	15.0	ND			
CALCÁRIO2	ND	ND	2.1	ND	ND	ND	ND	ND	6.9	ND	ND	ND	36.4	18.0	ND			
	Yb	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U									
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)									
CALCÁRIO1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31.0	23.0									
CALCÁRIO2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27.0	21.2									
CALCÁRIO1	CALCÁRIO2																	
	(%)	(%)																
LOI	44.250	LOI	43.980															
Na2O	0.199	Na2O	0.243															
MgO	0.838	MgO	1.079															
Al2O3	0.171	Al2O3	0.092															
SiO2	0.404	SiO2	0.325															
P2O5	0.087	P2O5	0.088															
SO3	0.285	SO3	0.310															
Cl	0.052	Cl	0.060															
K2O	0.009	CaO	53.081															
CaO	52.915	Fe2O3	0.023															
Fe2O3	0.027	Sr	0.716															
Sr	0.765																	

Fonte: Laboratório do Departamento de Geociências da UA.

11.1.2. Análise da DRX da amostra1

X'Pert Graphics & Identify
Graph: Calcario1

31-10-2013 11:39



Philips Analytical

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
13,31446	0,95	6,63316	9,67	196,20	0,32000	0,61
4,27367	3,48	20,76730	35,48	39,74	0,08000	0,79
3,84548	6,88	23,10995	70,03	33,96	0,08000	0,83
3,40102	100,00	26,18043	1018,32	28,56	0,14000	16,26
3,34232	7,06	26,64865	71,87	27,90	0,08000	0,88
3,27770	51,71	27,18396	526,53	27,16	0,10000	5,06
3,21244	5,71	27,74712	58,19	26,37	0,08000	1,08
3,02476	77,88	29,50669	793,09	24,13	0,16000	12,11
2,99257	16,02	29,83140	163,12	23,75	0,12000	2,04
2,87460	5,52	31,08586	56,21	22,28	0,06000	0,63
2,82975	1,11	31,59138	11,26	21,68	0,24000	0,72
2,73593	8,00	32,70449	81,42	20,38	0,12000	0,72
2,70464	55,45	33,09366	564,64	19,92	0,12000	7,42
2,48910	38,46	36,05354	391,69	17,24	0,12000	4,44
2,41292	12,25	37,23285	124,77	16,76	0,08000	1,78
2,37547	41,11	37,84202	418,62	16,51	0,10000	4,74
2,34349	25,61	38,37842	260,76	16,29	0,08000	1,69
2,33271	18,50	38,56288	188,35	16,21	0,06000	1,35
2,28120	16,02	39,46930	163,12	15,84	0,06000	3,64
2,19249	10,49	41,13703	106,84	15,16	0,10000	1,83
2,10770	22,77	42,87182	231,84	14,45	0,08000	2,40
2,08779	11,95	43,30118	121,68	14,28	0,10000	1,59
1,97905	71,57	45,81151	728,83	13,25	0,08000	4,08
1,97352	30,63	45,94739	311,95	13,19	0,06000	1,63

Philips Analytical

Page: 1

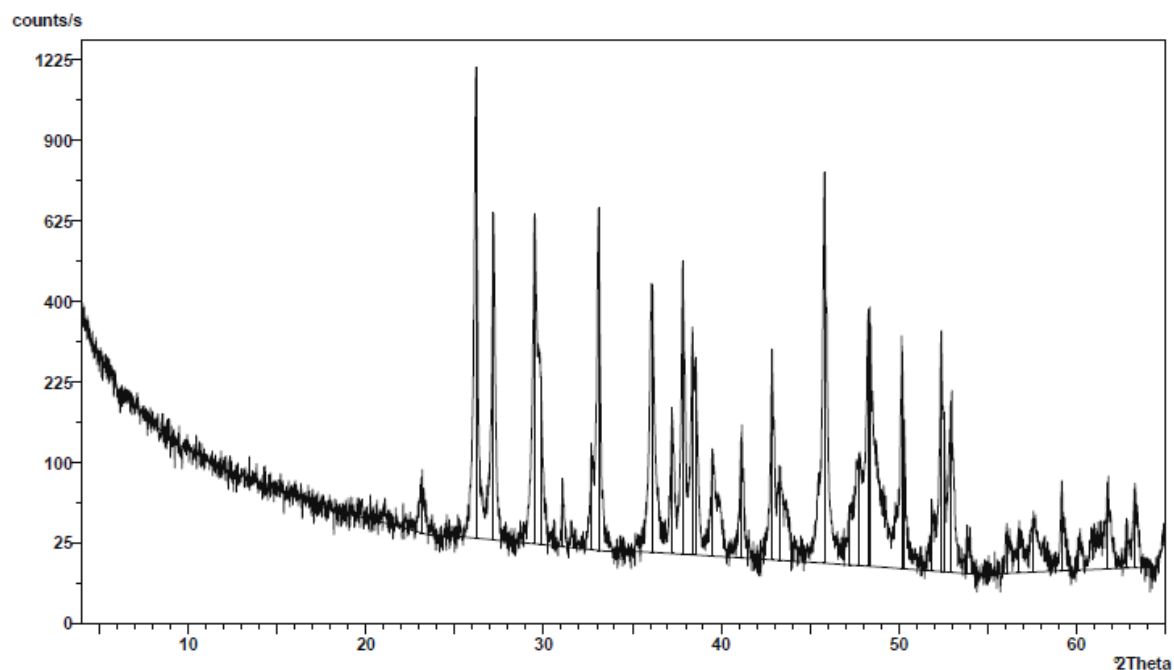
d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
1,92498	6,04	47,17505	61,53	12,69	0,06000	1,39
1,90548	13,30	47,68766	135,44	12,48	0,16000	1,78
1,88359	34,17	48,27690	347,95	12,24	0,08000	1,05
1,87849	32,87	48,41635	334,71	12,18	0,06000	0,65
1,86725	13,55	48,72670	137,94	12,06	0,16000	0,66
1,81622	25,41	50,18879	258,78	11,46	0,10000	3,61
1,76081	3,66	51,88347	37,23	10,76	0,10000	1,05
1,74484	27,81	52,39427	283,22	10,56	0,10000	3,34
1,73956	13,18	52,56546	134,17	10,49	0,06000	1,51
1,72724	15,19	52,96953	154,70	10,32	0,12000	2,82
1,69964	1,94	53,89852	19,79	9,94	0,12000	1,68
1,63791	3,33	56,10519	33,93	9,59	0,08000	0,73
1,62107	4,09	56,74036	41,63	9,62	0,12000	0,61
1,59868	6,33	57,60909	64,49	9,66	0,24000	2,84
1,55921	4,54	59,21027	46,24	9,73	0,12000	1,43
1,53675	1,37	60,16402	13,92	9,77	0,12000	1,00
1,52085	3,25	60,85918	33,09	9,80	0,12000	0,85
1,50042	5,82	61,77796	59,29	9,84	0,06000	0,82
1,47764	2,01	62,83790	20,48	9,89	0,16000	0,63
1,46805	7,55	63,29544	76,93	9,91	0,08000	1,62
1,46332	2,55	63,52379	26,00	9,92	0,10000	0,70

Fonte: Laboratório do Departamento de Geociências da UA.

11.1.3. Análise da DRX da amostra2

X'Pert Graphics & Identify
Graph: Calcario2

31-10-2013 11:40



Philips Analytical

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
9,90101	2,40	8,92402	28,03	134,41	0,06000	0,65
4,37978	1,34	20,25879	15,65	42,33	0,08000	0,62
3,84426	4,02	23,11738	46,84	32,02	0,16000	0,87
3,39980	100,00	26,19001	1165,59	28,38	0,12000	12,79
3,27738	53,79	27,18669	626,93	27,30	0,10000	5,61
3,02563	53,37	29,49797	622,09	24,80	0,10000	3,99
2,99260	18,00	29,83106	209,75	24,44	0,12000	1,37
2,87603	4,97	31,07002	57,91	23,10	0,06000	1,40
2,81221	0,51	31,79366	5,97	22,32	0,12000	0,92
2,73536	7,52	32,71158	87,60	21,32	0,12000	1,04
2,70483	55,40	33,09134	645,69	20,91	0,10000	5,22
2,48512	36,28	36,11324	422,93	19,83	0,14000	5,97
2,41302	13,82	37,23131	161,08	19,17	0,08000	1,11
2,37571	41,89	37,83804	488,31	18,81	0,08000	2,51
2,34375	23,79	38,37402	277,34	18,50	0,12000	4,22
2,33230	21,84	38,56988	254,54	18,38	0,08000	1,26
2,27905	8,50	39,50808	99,07	17,83	0,06000	0,65
2,19146	9,97	41,15710	116,25	16,86	0,10000	1,72
2,10781	23,54	42,86944	274,42	15,89	0,08000	1,61
2,08732	6,10	43,31146	71,14	15,64	0,20000	1,69
1,97902	66,18	45,81233	771,34	14,26	0,08000	3,48
1,92199	3,48	47,25289	40,54	13,47	0,12000	0,68
1,90123	8,32	47,80087	97,00	13,17	0,24000	1,82
1,88369	30,00	48,27403	349,65	12,91	0,12000	2,70

Philips Analytical

Page: 1

d-spacing (Å)	Relative Intensity (%)	Angle (°2Theta)	Peak Height (counts/s)	Background (counts/s)	Tip Width (°2Theta)	Significance
1,87895	27,83	48,40378	324,35	12,83	0,06000	1,38
1,81631	23,33	50,18633	271,91	11,85	0,08000	1,59
1,81126	11,55	50,33595	134,66	11,77	0,06000	0,98
1,76114	4,22	51,87315	49,14	10,92	0,08000	0,71
1,74475	27,37	52,39723	319,01	10,63	0,08000	2,44
1,73969	13,94	52,56122	162,52	10,54	0,06000	1,30
1,72738	14,17	52,96508	165,15	10,32	0,06000	2,57
1,70054	2,38	53,86760	27,78	9,82	0,20000	1,60
1,63844	1,98	56,08558	23,09	9,96	0,12000	1,24
1,62032	2,05	56,76902	23,86	10,18	0,16000	0,63
1,60072	2,30	57,52856	26,80	10,41	0,20000	0,60
1,55996	5,25	59,17882	61,25	10,93	0,10000	1,75
1,53709	1,22	60,14943	14,19	11,24	0,16000	0,61
1,50038	5,46	61,77996	63,58	11,75	0,10000	1,55
1,47743	2,03	62,84758	23,61	12,09	0,12000	1,49
1,46718	4,78	63,33769	55,72	12,24	0,08000	1,05

Fonte: Laboratório do Departamento de Geociências da UA.

Amostra nº 0896A Data colheita 25-23/12/2007
 Material calcário Data análise 03/08/2008

Análise	Resultado	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Humidade		19,2439	18,7116	14,12745
P.F.	49,76	18,8055	18,7044	
SiO ₂	0,72	43,76	0,72	
Al ₂ O ₃	1,78			= 1,78
Fe ₂ O ₃	0,23			
CaO total	52,64	0,207984	18,828-52,64	MgO
MgO	0,80			19,2-18,8-0,48
SO ₃		= 0,23		206-0,80
Total	99,99	SO ₃	RL	CaO livre
RL	62,07550			
CaO livre				
Carvão				
Humidade				
Teor cinzas				
Mat. voláteis				
Carbóno fixo				

CaO Lea _____
 Sol. Lea _____

Observações:

O analista

O responsável do laboratório

Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

11.2.2. Amostra de calcário da empresa do ano 2008

AMOSTRA Nº 2485A Data colheita 09-10/06/03
 MATERIAL: Calcário Data análise 11/06/08

Análise	Resultado	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Humidade	4,43	23,0000	20,7010	0,4000
P.F.	44,03	22,5597	29,6940	1,2745
SiO ₂	1,40	44,03		
Al ₂ O ₃	0,51		1,40	0,51
Fe ₂ O ₃	0,33			
CaO total	55,16	0,0000	CaO total	MgO
MgO	0,60	0,399	19,700	20,000
SO ₃	0,21	0,33	2,800	2,016
Cloreto	0,0000		55,16	0,60
Total	102,24	SO ₃	RL	CaO livre
RL	0,24	18,8120	20,0679	
CaO livre	0,00	18,8060	20,0555	
		0,21	0,24	
CALCULOS				
F.S.C	11,37			
M.H	24,64			
M.S	1,67			
M.A	1,55			
C ₂ S	209,43			
C ₂ S	-153,90			
C ₂ A	0,79			
C ₂ AF	1,00			
CaSO ₄	0,35			
C ₃ S+C ₂ S	55,53			
C ₂ AF+C ₂ A	1,79			


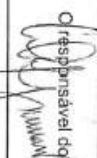
Observações:

O analista

O responsável do laboratório



Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

11.2.3. Amostra de calcário da empresa do ano 2009

AMOSTRA Nº 2788A		Data colheita- 18-19-20/11/2009		
MATERIAL: Calcário		Data análise 10/12/09		
Análise	Resultado	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Humidade	6,10	24,3470	29,6998	0,6000
P.F.	43,55	23,9115	29,6972	1,2745
SiO ₂	0,26	43,55	0,26	0,76
Al ₂ O ₃	0,76			
Fe ₂ O ₃	0,16	Fe ₂ O ₃	CaO total	MgO
CaO total	54,32	0,400	19,400	19,708
MgO	0,60	0,399	2,800	2,016
SO ₃	0,08	0,16	54,32	0,60
Cloretos	0,0000			
Total	99,74	SO ₃	R.L.	CaO livre
			24,2833	18,0730
R.L.	0,16		24,2809	18,0714
CaO livre	0,00		0,08	0,16
				0,00
CALCULOS				
F.S.C	31,35	Cloretos		
M.H.	45,86			
M.S.	0,28		0,0000	
M.A.	4,79			
C ₂ S	213,56			
C ₂ S	-160,28			
C ₃ A	1,76			
C ₄ AF	0,49			
CaSO ₄	0,14			
C ₃ S+C ₂ S	53,28			
C ₄ AF+C ₃ A	2,24			
Observações:				
O analista 				
O responsável do laboratório 				

Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

11.2.4. Amostra de calcário da empresa do ano 2011

AMOSTRA Nº 3129A		Data colheita 23/06/011		
MATERIAL: Calcário		Data análise 11/07/011		
Análise	Resultado	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Humidade		18,6475	29,9533	0,5000
P.F.	42,99	18,2176	29,9466	0,7647
SiO ₂	0,67	42,99	0,67	0,79
Al ₂ O ₃	0,79			
Fe ₂ O ₃	0,49	Fe ₂ O ₃	CaO total	MgO
CaO total	53,03	0,200	15,300	0,300
MgO	0,75	1,198	1,082	1,209
SO ₃	0,45	0,49	53,03	0,75
Cloretos	0,0000			
Total	99,17	SO ₃	R.L.	CaO livre
			29,6099	29,6982
R.L.	0,12		29,6033	29,6970
CaO livre	0,00		0,45	0,12
				0,00
CALCULOS				
F.S.C	16,96	Cloretos		
M.H.	27,18			
M.S.	0,52		0,0000	
M.A.	1,60			
C ₂ S	203,49			
C ₂ S	-151,51			
C ₃ A	1,25			
C ₄ AF	1,50			
CaSO ₄	0,77			
C ₃ S+C ₂ S	51,98			
C ₄ AF+C ₃ A	2,75			
Observações:				
O analista 				
O responsável do laboratório 				

Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

11.2.4. Amostra de calcário da empresa do ano 2012

AMOSTRA Nº3279A


Data colheita 23-24/03/2012


MATERIAL: Calcários

Data análise 08/04/012

Análise	Resultado	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Humidade	5,8	23,4430	30,2970	0,2
P.F.	43,44	23,0086	30,2917	0,7647
SiO ₂	1,06	43,44	1,06	0,34
Al ₂ O ₃	0,34			
Fe ₂ O ₃	0,24	Fe ₂ O ₃	CaO total	MgO
CaO total	53,50	0,100	15,900	0,100
MgO	0,24	1,198	1,682	1,209
SO ₃	0,23	0,24	53,50	0,24
Clorretos	0,0000			
Total	99,04	SO ₃	R.L.	CaO livre
R.L.	0,11	23,2857	20,0571	
CaO livre	0,00	23,2824	20,0560	
		0,23	0,11	0,00
CALCULOS		Clorretos		
F.S.C				
M.H.				
M.S.		0,0000		
M.A.				
C ₃ S				
C ₂ S				
C ₄ A				
C ₄ AF				
CaSO ₄				
C ₃ S+C ₂ S				
C ₄ AF+C ₄ A				

Observações:

O analista


O responsável do laboratório


Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

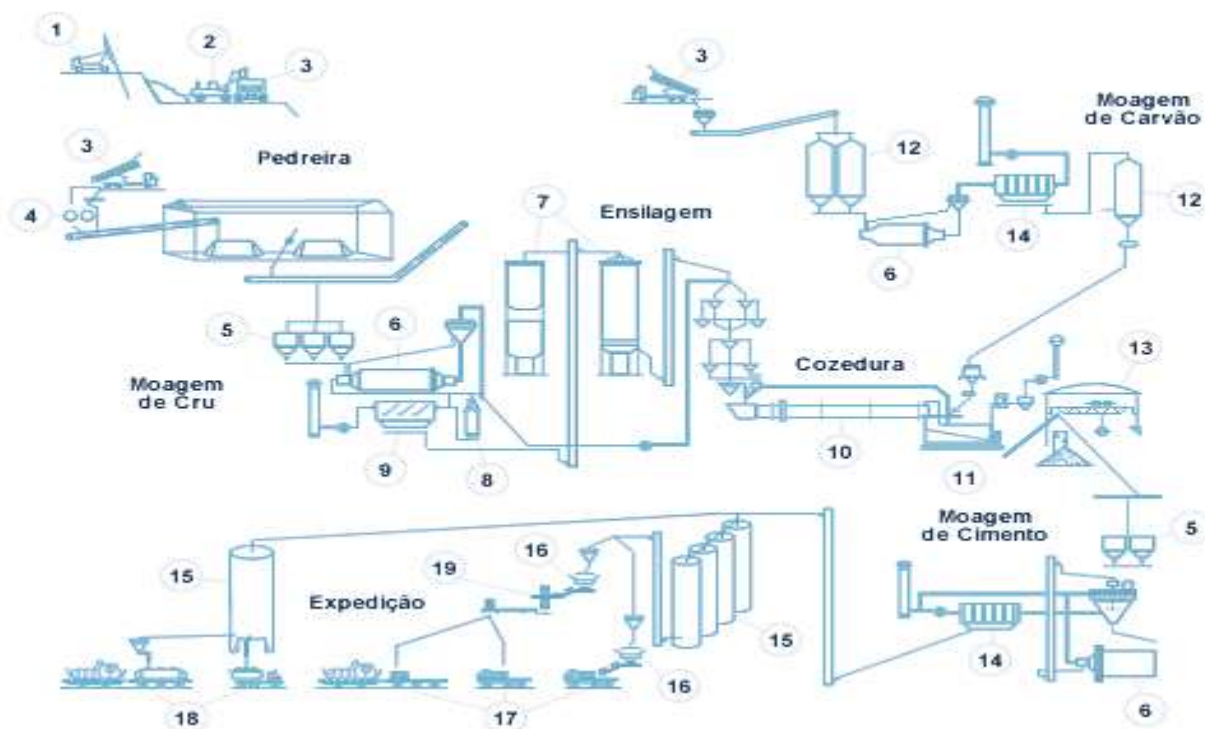
11.2.5. Amostra de calcário da empresa do ano 2013

AMOSTRA Nº A		Data colheita de 13-14/03/13	
MATERIAL : Calcário		Data análise 16/03/013	
CALCÁRIO			
Análise	Resultado		
Humidade	6,81	P.F.	SiO ₂
P.F.	43,21		Al ₂ O ₃
SiO ₂	0,30	30,4321	29,2930
Al ₂ O ₃	0,38	30,0000	0,3
Fe ₂ O ₃	0,43	43,21	0,7647
CaO total	54,03		0,30
MgO	0,46		0,38
SO ₃	0,22		
Clorretos	0,0000		
Total	99,03		
		SO ₃	MgO
R.L.	0,16		
CaO livre	0,00		
CALCULOS			
F.S.C	34,27		
M.H.	48,52		
M.S.	0,37		
M.A.	0,89		
C ₂ S	213,85		
C ₃ S	-160,38		
C ₄ A	0,28		
C ₄ AF	1,31		
CaSO ₄	0,37		
C ₃ S+C ₂ S	53,47		
C ₄ AF+C ₄ A	1,59		
Observações:			
O analista			
O responsável do laboratório			

Fonte: Laboratório de Nacala em Moçambique

11.3. Esquema geral de produção do cimento

Figura 2. Esquema geral da produção de cimento



Fonte: <http://www.cimpor.pt>

LEGENDA:

1. Perfuradora; 2. Pás Carregadoras; 3. Camiões Basculantes; 4. Britador; 5. Tremonhas; 6. Moinhos; 7. Silos Homo e Armazenamento; 8. Torre de Condicionamento; 9. Electrofiltro; 10. Forno; 11. Arrefecedor; 12. Silos para Carvão; 13. Armazém para Clínquer; 14. Filtros de Mangas; 15. Silos para Cimento; 16. Ensacadoras Rotativas; 17. Expedição de Cimento em Saco; 18. Expedição de Cimento a Granel; 19. Paletização (paletes ou pacotões - embalagem de plástico).